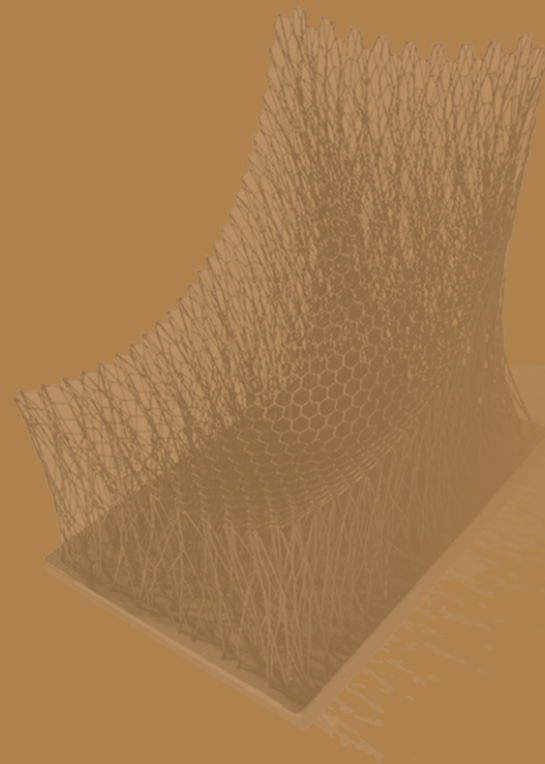




Nanyang Academy of Sciences Pte. Ltd.
Tel.: +65 65881289
E-mail: contact@nassg.org
Add.: 12 Eu Tong Sen Street #07-169 Singapore 059819

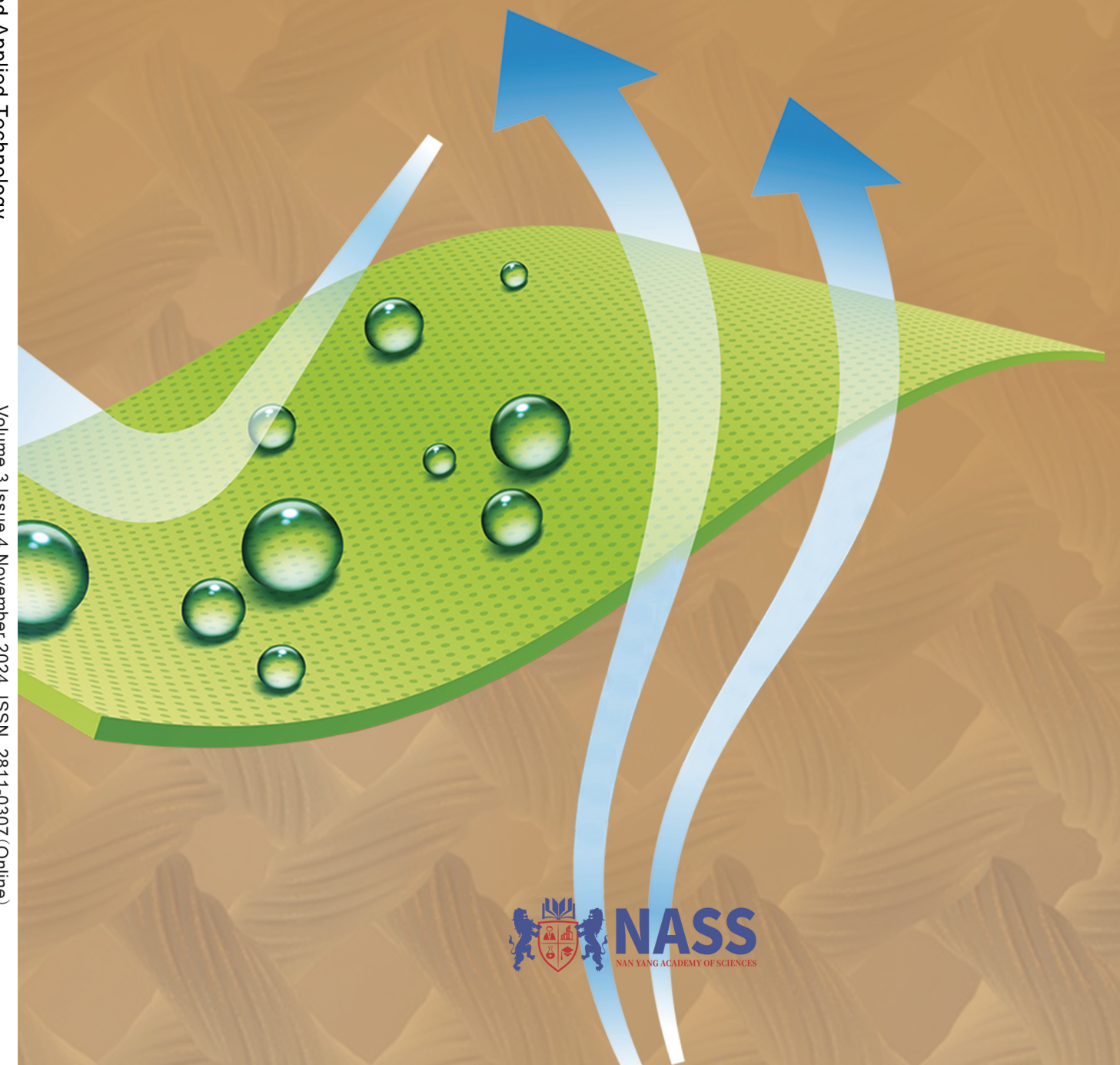


材料科学与应用技术 Materials Science and Applied Technology
Volume 3 Issue 4 November 2024 ISSN 2811-0307 (Online)

Volume 3 Issue 4 November 2024 ISSN 2811-0307 (Online)

材料科学与应用技术

Materials Science and Applied Technology



中文刊名：材料科学与应用技术

ISSN：2811-0307 (网络)

出版语言：华文

期刊网址：http://journals.nassg.org/index.php/msat

出版社名称：新加坡南洋科学院

Serial Title: Materials Science and Applied Technology

ISSN: 2811-0307 (Online)

Language: Chinese

URL: http://journals.nassg.org/index.php/msat

Publisher: Nan Yang Academy of Sciences Pte. Ltd.

《材料科学与应用技术》征稿函

Database Inclusion



Asia & Pacific Science
Citation Index



Creative Commons



MyScienceWork



Google Scholar



Crossref



China National Knowledge
Infrastructure

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



期刊概况：

中文刊名：材料科学与应用技术

ISSN：2811—0307（Online）

出版语言：华文刊

期刊网址：http://journals.nassg.org/index.php/msat

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
- 中国知网（CNKI）、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：

编辑部和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。

材料科学与应用技术

Materials Science and Applied Technology

Volume 3 Issue 4 November 2024

ISSN 2811-0307 (Online)

主 编

邢宝林

河南理工大学, 中国

编 委

余 鹏 Peng Yu

刘恩超 Enchao Liu

高 飞 Fei Gao

郝名扬 Mingyang Hao

1	考虑环境因素的金属材料疲劳性能预测模型构建与分析	/ 易涛
	/ 房浩弟 周妮莎 孝本康	26
4	松香树脂加氢反应条件对产物色度和纯度的影响研究	/ 张广建
	/ 王朝鹏	29
7	医疗器械中常见化学成分的应用研究	织构化表面减摩抗磨的研究进展
	/ 董照地	/ 黎健文
10	航空航天领域钛合金 3D 打印材料的微观结构与力学性能研究	32
	/ 孙瑞辰	建筑工程材料检验检测技术的应用探析
13	海上风电设施的防腐方法分析	/ 楚子轩
	/ 冒金鹏 董吴磊	35
16	碳纤维复合材料在飞机蒙皮中的导电性增强与防雷击技术研究	一种金属中氧氮氢含量测定试样制备用打磨剪切装置
	/ 范晨颖	/ 谈昭君
19	陶瓷喂料工艺开发的检测分析系统	38
	/ 刘芳 汪丽萍 杨剑宁 文琼 何海	玻璃钢夹砂管应用现状与标准化分析
23	连轧无缝钢管生产时产生的质量缺陷的控制	/ 王佳伟
		41
		赤岸油田腐蚀结垢一体化研究与治理
		/ 王志平 吴玉华 许雅 段中华 缪建成
		44
		稀释剂含量对光纤环用绕环胶性能的影响
		/ 熊水城 丁燕鸿 熊旭
		48
		高性能二氧化碳养护泡沫混凝土的制备与性能评估
		/ 李秀 杨昕美 樊才睿 王腾

- | | | | | |
|----|--|----|--|---|
| 1 | Construction and Analysis of the Fatigue Performance Prediction Model of Metal Materials Considering Environmental Factors
/ Haodi Fang Nisha Zhou Benkang Xiao | | | Steel Pipe Production
/ Tao Yi |
| 4 | Research on the Influence of Hydrogenation Reaction Conditions of Rosin Resin on the Color and Purity of the Product
/ Chaopeng Wang | 26 | | Effect of Welding Parameter Optimization on Formation Mechanism of Weld Defects
/ Guangjian Zhang |
| 7 | Research on the Application of Common Chemical Components in Medical Devices
/ Zhaodi Dong | 29 | | Progress of Friction Reduction and Wear Resistance of Textured Surface
/ Jianwen Li |
| 10 | Research on the Microstructure and Mechanical Properties of Titanium Alloy 3D Printed Materials in the Aerospace Field
/ Ruichen Sun | 32 | | Application Analysis of Material Inspection and Testing Technology in Construction Engineering
/ Zixuan Chu |
| 13 | Analysis of Anticorrosion Methods of Offshore Wind Power Facilities
/ Jinpeng Mao Wulei Dong | 35 | | A Grinding Shear Device for the Determination of Oxygen, Nitrogen and Hydrogen in Metal
/ Zhaojun Tan |
| 16 | Research on Conductivity Enhancement and Lightning Protection Technology of Carbon Fiber Composite Materials in Aircraft Skin
/ Chenying Fan | 38 | | Application Status and Standardization Analysis of FRP Sand Sandwich Pipe
/ Jiawei Wang |
| 19 | Detection and Analysis System for Ceramic Feeding Process Development
/ Fang Liu Liping Wang Jianning Yang Qiong Wen Hai He | 41 | | Integrated Research and Treatment of Corrosion and Scaling in Chian Oilfield
/ Zhiping Wang Yuhua Wu Ya Xu Zhonghua Duan Jiancheng Miao |
| 23 | Control of Quality Defects in Continuous Rolling Seamless | 44 | | Effect of Diluent Content on the Performance of Circular Fiber Ring
/ Shuicheng Xiong Yanhong Ding Xu Xiong |
| | | 48 | | Preparation and Performance Evaluation of High-performance Carbon Dioxide Curing Foam Concrete
/ Xiu Li Xinmei Yang Cairui Fan Teng Wang |

Construction and Analysis of the Fatigue Performance Prediction Model of Metal Materials Considering Environmental Factors

Haodi Fang¹ Nisha Zhou² Benkang Xiao¹

1. Tianjin Aerospace Long March Rocket Manufacturing Co., Ltd., Tianjin, 300000, China

2. Tianjin Aerospace Long March Technology and Equipment Co., Ltd., Tianjin, 300000, China

Abstract

This paper deeply discusses the fatigue performance of metal materials and their influence by environmental factors, and analyzes the main problems of the existing prediction model in environmental adaptability, data processing and model stability. To solve these problems, we propose a new set of prediction model construction strategies, including accurate quantification of environmental factors, model parameter optimization based on environmental adjustment, and data preprocessing and feature extraction using machine learning techniques. Furthermore, the technical means to enhance the model stability and reliability are also explored. The implementation of these strategies aims to improve the accuracy and reliability of the fatigue performance prediction of metal materials, which provides a theoretical basis and practical guidance for research in related fields.

Keywords

environmental factors; metal materials; fatigue performance; forecast

考虑环境因素的金属材料疲劳性能预测模型构建与分析

房浩弟¹ 周妮莎² 孝本康¹

1. 天津航天长征火箭制造有限公司, 中国·天津 300000

2. 天津航天长征技术装备有限公司, 中国·天津 300000

摘要

论文深入探讨了金属材料疲劳性能及其受环境因素的影响, 分析了现有预测模型在环境适应性、数据处理及模型稳定性方面的主要问题。针对这些问题, 我们提出了一套全新的预测模型构建策略, 包括环境因素的精准量化、基于环境调整的模型参数优化以及利用机器学习技术进行数据预处理和特征提取。此外, 还探讨了增强模型稳定性和可靠性的技术手段。这些策略的实施旨在提高金属材料疲劳性能预测的准确性和可靠性, 为相关领域的研究提供了理论基础和实践指导。

关键词

环境因素; 金属材料; 疲劳性能; 预测

1 引言

金属材料广泛应用于工程中, 其疲劳性能的准确预测对结构安全至关重要。然而, 疲劳性能受温度、湿度和腐蚀等环境因素的复杂交互作用影响, 传统预测模型常忽略这些因素, 导致预测精度不足。论文通过分析环境因素对疲劳性能的影响机制, 构建一个综合考虑环境因素的预测模型, 旨在提高预测的准确性和可靠性, 为金属材料的疲劳分析和工程设计提供科学依据和支持。

2 金属材料疲劳性能研究及环境影响因素现状分析

2.1 金属材料疲劳性能研究概述

金属材料疲劳性能是指材料在交变载荷作用下逐渐发展至破裂的过程, 是材料工程中一种常见的破坏模式, 对金属结构的可靠性和安全性具有重要影响。研究疲劳性能不仅有助于预防结构件的疲劳失效, 提高使用寿命, 还能帮助设计更安全可靠的材料和结构。当前研究主要集中在疲劳寿命预测和疲劳裂纹扩展等方面, 通过建立相关模型, 提高对疲劳性能的认识和控制能力。环境因素对疲劳性能的影响复杂, 不同环境下的性能可能有显著差异, 因此深入研究环境因素的影响规律并构建相应的预测模型是必要的。

2.2 环境因素对金属材料疲劳性能的影响分析

环境因素对金属材料的性能有着显著影响。例如, 高温环境通常会导致金属的强度和韧性下降, 这种物理状态的

【作者简介】房浩弟 (1986-), 男, 中国山东青岛人, 硕士, 工程师, 从事非标装备研发研究。

改变会使得材料更容易发生疲劳损伤,从而显著缩短其疲劳寿命。湿度和腐蚀介质的存在则加速了金属的腐蚀过程,进一步降低材料的疲劳强度,加速疲劳裂纹的扩展。此外,应力比(即最小应力与最大应力之比)的变化在循环载荷作用下对金属的疲劳寿命也有重要影响。这些因素共同作用,决定了金属材料在特定环境下的使用寿命和可靠性。

3 现有金属材料疲劳性能预测模型存在的问题与挑战

3.1 环境因素量化与模型适应性不足

3.1.1 环境因素量化方法的局限性

环境因素对金属材料疲劳性能的影响是多方面的,但现有的量化方法存在一定的局限性。首先,由于环境因素的复杂性和多样性,仅凭经验或简单的统计方法进行量化可能无法全面反映真实的环境影响。其次,当前量化方法往往只能考虑单一环境因素的作用,无法有效地综合考虑多种环境因素的综合效应,导致模型的预测能力有限。最后,环境因素量化方法的不确定性和可靠性也是该领域面临的挑战之一,缺乏标准化的量化方法和评估体系使得研究结果的可比性和稳定性受到影响。

3.1.2 现有模型在复杂环境下的预测误差分析

在复杂环境下,现有金属材料疲劳性能预测模型存在着预测误差问题。这主要是由于环境因素的多样性和不确定性导致的模型适应性不足。例如,气候变化、湿度、温度变化、化学腐蚀等环境因素会对金属材料的疲劳寿命产生影响,然而现有模型未能充分考虑这些复杂环境下的影响因素,导致预测结果与实际情况存在较大偏差。此外,现有模型在处理环境因素交互作用时存在一定困难,无法很好地捕捉环境因素之间的复杂关系,进一步加大了预测误差的难度。

3.2 数据收集与处理中的挑战

3.2.1 多源数据的整合与标准化问题

在金属材料疲劳性能预测模型的构建过程中,多源数据的整合与标准化问题是一个重要挑战。研究人员通常需要处理来自不同来源的数据,如实验室测试结果、现场监测数据以及计算机模拟输出等。这些数据往往存在格式不一致、度量单位差异和质量参差不齐的问题。数据的不一致性可能导致分析结果的不准确,而数据质量的不确定性则可能影响模型的预测能力和可靠性。此外,缺乏统一的数据处理和标准化方法可能会导致信息的误用或丢失,进一步增加了模型构建的复杂性和困难。

3.2.2 数据质量与预测模型性能的关系

良好的数据质量可以提高模型的准确性和稳定性,而数据质量较差则可能导致预测结果的不确定性和误差。在数据收集与处理过程中,多源数据的整合和标准化是一个重要的挑战。不同数据源的格式和标准差异性可能会导致数据冗余和不一致性,从而影响模型的训练和预测效果。另外,数

据质量与预测模型性能之间存在着密切的关系。数据的准确性、完整性和一致性将直接影响模型的精度和可靠性。

3.3 模型稳定性与可靠性不足的问题

3.3.1 模型在不同环境条件下的稳定性分析

环境因素的变化对金属材料的疲劳性能具有显著影响,这一点在模型预测中尤为突出。例如,温度的升高或降低、湿度的变化以及氧化程度的不同,都会改变金属的物理和化学属性,从而影响其疲劳寿命和疲劳强度。这些环境变量的波动导致预测模型在不同环境条件下的应用时出现偏差,使得模型的普适性和准确性受到限制。因此,环境因素的不确定性和多变性是影响金属材料疲劳性能预测模型准确性的重要因素,需要在模型开发和应用中给予充分考虑。

3.3.2 提高模型可靠性的关键技术与难点

在金属材料疲劳性能预测模型的可靠性提升过程中,存在多个关键技术难点。首先,模型验证的复杂性较高,因为需要确保模型在多种环境条件下都能保持其准确性和鲁棒性,这要求模型必须通过多种验证方法进行严格检验。其次,验证数据的有效性问题不容忽视,数据来源的多样性和质量的不一致可能导致验证结果的不准确。再次,模型参数的优化和选择也是一个技术难点,不恰当的参数可能会导致模型预测精度不足。最后,模型的泛化能力和适用性问题也是提高可靠性时需要面对的挑战,模型需要在不同的实际应用场景中展现出稳定的性能,这对模型的设计和测试提出了更高的要求。

4 考虑环境因素的金属材料疲劳性能预测模型构建策略

4.1 环境因素的精准量化与模型参数优化

4.1.1 环境因素的多维度量化方法

在构建考虑环境因素的金属材料疲劳性能预测模型时,首先需要对环境因素进行多维度量化。这包括对温度、湿度、腐蚀性气体等因素进行准确的监测和数据采集。其中,温度的测量可以采用传感器技术和热像仪进行实时监测,湿度可以通过湿度传感器来获取,腐蚀性气体的含量可以通过气体传感器等设备进行检测。通过对这些环境因素进行精准的多维度量化,可以为建立准确的金属材料疲劳性能预测模型提供必要的数据支撑和基础。同时,对不同环境因素之间的相互影响和复合效应进行分析和建模,有助于更全面地理解环境因素对金属材料疲劳性能的影响机理,从而提高模型的预测准确性和可靠性。此外,这种综合考虑多环境因素的方法还可以揭示不同因素如何在复杂的实际应用环境中相互作用,影响材料的疲劳寿命。

4.1.2 基于环境因素的模型参数优化策略

在构建考虑环境因素的金属材料疲劳性能预测模型中,首先需要对环境因素如温度、湿度、腐蚀等进行详尽的量化分析,因为这些因素直接影响材料的疲劳寿命和性能。通过

实时监测这些变量并采集数据，为模型提供实时、准确的输入。结合数学统计方法和先进的数据处理技术，可以精确地优化模型参数，提高模型在不同环境下的准确性和稳定性，精确揭示环境因素对材料疲劳性能的影响。这种优化提升了疲劳寿命预测的精度和可靠性，为疲劳性能研究提供理论支持和实际应用指导，有助于开发有效的材料设计和维护策略，确保工程结构的长期稳定和安全。

4.2 数据处理与特征提取技术的创新应用

4.2.1 基于机器学习的数据预处理技术

通过机器学习算法，可以有效地进行原始数据的筛选、清洗和特征提取，显著提升数据质量和可用性。机器学习中的聚类、分类和回归等方法不仅优化数据降维，还能筛选出最具代表性的特征，为模型构建提供坚实的数据基础。这些技术能有效剔除异常数据和噪声，增强数据的准确性和可信度。应用机器学习的数据预处理技术，可以解决处理大规模数据集、自动化特征选择等多种难题，为金属材料疲劳性能预测模型的构建和优化提供技术支持。此外，机器学习方法能自动调整处理流程，适应不同数据特性和需求，这在复杂数据环境中尤为重要。通过这些高级技术，不仅提升了数据处理的自动化和智能化水平，还能通过精确的数据分析揭示材料行为和性能关系，为金属材料的疲劳性能预测和实际应用提供精确可靠的科学依据。

4.2.2 特征提取在提升预测精度中的作用

特征提取是通过采用合适的技术，提高模型对环境因素的识别能力及预测的精确度。在金属材料疲劳性能预测中，特征提取技术能将复杂的原始数据转化为具代表性和可解释性的特征，有效降低数据维度，提取出对疲劳性能影响显著的信号。常用的特征提取方法包括统计特征、频域特征及时域特征提取等。这些技术帮助模型准确捕捉温度、湿度、腐蚀等环境因素对金属材料疲劳性能的影响，显著提升预测的精度和稳定性。通过精心设计的特征提取技术，可以深入挖掘数据中的规律和信息，为构建高效且可靠的疲劳性能预测模型提供技术支持。这种方法优化了数据处理流程，提高了处理速度，增强了模型对环境变化的适应能力和预测结果的可靠性，进一步提升模型的泛化能力，确保在不同环境下维持高预测性能。

4.3 模型稳定性与可靠性的提升方法

4.3.1 模型稳定性增强的技术手段

要提高金属材料疲劳性能预测模型的稳定性，可以采取以下技术手段。首先，可以通过引入适当的正则化方法，如L1正则化和L2正则化，来降低模型的复杂度，减少过拟合的风险，从而提高模型在不同环境条件下的稳定性。其次，采用集成学习的方法，如随机森林和梯度提升树等，将

多个基础模型组合成一个强大的集成模型，通过投票或加权平均等方式综合多个模型的预测结果，提高整体预测的稳定性和准确性。最后，还可以采用交叉验证的技术，将数据集分成若干份，进行多轮训练和测试，通过验证模型在不同数据子集上的表现，评估模型的泛化能力，从而提高模型的稳定性和可靠性。

4.3.2 可靠性评估与提升策略的整合应用

在构建金属材料疲劳性能预测模型时，整合并应用可靠性评估与提升策略是非常重要的。首先，对模型的稳定性进行全面评估是必需的，这包括在多种环境条件下对模型的性能进行严格的验证和比较，以确保其在实际工程应用中的高度可靠性。其次，引入模型集成和融合技术，通过结合多个模型的优势，可以显著提升整体模型的鲁棒性和可靠性。最后，采用交叉验证等技术手段来评估模型在不同数据集上的泛化能力，是进一步提升模型可靠性和推广性的有效方法。

5 结论

本研究全面分析了金属材料疲劳性能及其受环境因素影响的现状，指出了现有预测模型在环境因素量化、数据处理、模型稳定性与可靠性方面存在的问题。针对这些挑战，论文提出了一系列创新策略，包括环境因素的多维度量化方法、基于环境因素的模型参数优化策略，以及利用机器学习技术进行数据预处理和特征提取。这些策略的应用旨在提高模型的预测精度、稳定性和可靠性。通过实验验证，这些方法有效提升了金属材料疲劳性能预测模型的整体性能，为未来相关领域的研究和应用提供了有价值的参考和实践指导。

参考文献

- [1] 赵艳艳.小学语文专业学生听课评课现状及策略研究[J].赤峰学院学报(哲学社会科学版),2023,44(6):109-113.
- [2] 余彦峰.浅谈关于精准教研下的小学教师听评课记录表[J].天津教育(上旬刊),2020(12):167-168.
- [3] 朱莉萍.中小学教师学习力的要素结构及发展策略研究[D].武汉:华中师范大学,2021.
- [4] 王仪美,张飞,唐毅,等.高温高压水环境对核308L异种焊缝金属疲劳寿命影响的研究[J].压力容器,2020,37(12):15-19.
- [5] 张艺川.端面密封焊接金属波纹管疲劳特性研究[D].杭州:浙江工业大学,2022.
- [6] 武洋洋.微动疲劳和腐蚀共同作用下桥梁缆索损伤演化分析[D].南京:东南大学,2022.
- [7] 张涵.离心压缩机叶轮材料FV520B-I高/超高周疲劳损伤机理与金属磁记忆表征规律研究[D].济南:齐鲁工业大学,2023.
- [8] 夏伏龙.基于累积损伤理论的榫连结构疲劳可靠性分析[D].成都:电子科技大学,2020.

Research on the Influence of Hydrogenation Reaction Conditions of Rosin Resin on the Color and Purity of the Product

Chaopeng Wang

Guangxi Zhishan New Material Technology Co., Ltd., Qinzhou, Guangxi, 535000, China

Abstract

Through a systematic and in-depth comparative experiment, this paper studies the influence of the hydrogenation reaction process of rosin resin on the chromaticity and purity, and finds the change of the temperature, the pressure, the type of catalyst and the reaction time. Temperature and catalyst categories depend on their large determining effects on product color and mass. After optimizing these reactions, it not only reduces the color of the rosin resin hydrogenation product, but also shows an obvious benefit in improving its purity. The research results not only take the responsibility of improving the scientific basis of rosin resin, but also find new breakthroughs in industrial use, and have the possibility of extensive use in the future and high academic value.

Keywords

rosin resin; hydrogenation reaction; chromaticity control; condition optimization

松香树脂加氢反应条件对产物色度和纯度的影响研究

王朝鹏

广西至善新材料科技有限公司, 中国 · 广西 钦州 535000

摘 要

论文通过系统深入的对比实验, 对松香树脂加氢反应过程涉及的影响因素对色度和纯度的影响进行研究, 发现了温度、压力、催化剂种类和反应时间等条件对加氢产物的颜色浓淡与净化效果带来的变动。温度和催化剂类别以它们对产物颜色和质量上较大的决定作用为甚。优化这些反应情况后, 不仅降低了松香树脂加氢产品的色泽, 还显示出提升其纯度方面有着明显效益。该研究成果既担当起改良松香树脂科学依据之责任, 也在工业使用上找到新突破, 并具备未来广泛运用可能性及高学术价值。

关键词

松香树脂; 加氢反应; 色度控制; 条件优化

1 引言

松香树脂作为天然高分子材料, 广泛应用于化工、医药、涂料、胶粘剂等领域。但其色泽和杂质问题制约了其更广泛的应用。本研究通过加氢反应技术, 系统研究了反应条件对松香树脂色度和纯度的影响, 以期优化其性能, 拓宽应用领域。研究结果对于提高松香树脂的市场竞争力和推动相关产业发展具有重要意义。

2 理论基础与文献回顾

2.1 松香树脂的化学组成与性质

松香树脂, 作为天然萜类化合物的混合物, 主要由松香酸、脱氢松香酸等多元羧酸和松香酯组成, 这些成分赋予

松香树脂特有的化学性质。松香树脂的化学结构中含有大量的双键, 这些双键在热、光或催化剂的作用下容易发生反应, 导致树脂性能的变化。松香树脂具有高软化点、良好的粘接性和优异的耐候性, 使其在涂料、胶粘剂、电子材料等领域有着广泛的应用。松香树脂的色泽和杂质限制了其在某些高附加值领域的应用, 通过化学改性提高其性能具有重要意义。

2.2 加氢反应的基本原理

在有机化学中催化剂将氢气 (H_2) 分子分解为氢原子, 并附加到含不饱和键的有机化合物上, 实现了常见的还原反应——加氢反应。其转变成饱和化合物涉及碳碳双键或碳氧双键的消除、可能伴随着化学键断裂重组等核心过程。催化剂内部存在的活性位点关乎反应速度提升与活能消减; 品种选择直接影响到反应路径设定以及产出类型确定。归类至贵金属、非贵金属两大族群(包括铂 Pt、钯 Pd、铑 Rh、镍 Ni 等),

【作者简介】王朝鹏(1972-), 男, 壮族, 中国广西河池人, 硕士, 高级工程师, 从事化工技术与生产管理研究。

它们均可吸附并生成活性氢物种,使得之后元素间结构更易进行。而这一系列蜿蜒链条下游处理,则需要逐步调控温度压力条件与塑形最终产品所需诸复杂因素如速率、策略选择甚至是催化剂数稳持力与否视情况而变动锁平衡。环保立身于石油精细制药工业内广阔地被该技术运用进去,在恰当设置之下,便可精细控制以实现高效运转、侧反应减损^[1]。适当的条件促成了加氢反应的高效进行,同时也降低副反作用的发生率。多个步骤构成加氢反应机理,涵盖善于吸附的反应物、形成中间体、转移氢原子以及产物脱附等环节。正是这些顺利进行的步骤,使得加氢反应更具效率与选择性。工业实践范围广泛,从石油加工和精细化工到药品制造再到环保领域充分显示出其优良表现,在改变产品属性、提升原料有效使用度以及减少污染等方面显著效果明显。通过对合乎要求的调控下,合成和纯化目标产物无可限量的可能性就在其中。

2.3 加氢催化剂的种类与作用机制

松香树脂加氢改性过程中,加氢催化剂的作用至关重要。钯(Pd)、铂(Pt)系列等贵金属催化剂和非贵金属如镍(Ni)算得上常用种类。活性位点的提供源于这些催化剂,并促成了分子级别反应的气态氢解离、吸附并与双键共享电子,实现加氢饱和。在众多反应中,具有高活性及特异选择性的钯基催化剂使其深得人心,在松香树脂加氢工艺领域广泛存在。对于其来说,最大功臣是吸附到表面并成功激活后形成的活性氮原子这些都可以直接挑战松香树脂分子中那些做好准备发生反应的双键。而且还有一点不能忽视,那就是它们独具特色的高散布度和大比表面积,这两者保证了效率达到最优^[2]。每一种不同类型或功能机制独立版本把握好总会带来更佳体验,尤其对于想将有效松香树脂转变为加氟形态的。把这个规律理解彻底,便能在特定加氢制程中找到最优化方案,甚至是为松香树脂加氟催化剂设计提供强力支架。

2.4 松香树脂加氢改性的研究现状

松香树脂加氢改性是当前研究焦点,其目标双键的饱和化以提升产品稳定度及应用性能。两大主要类型包括部分氢化和完全氢化型加氢松香产品,在涂料、胶黏剂、油墨等途径中存在广泛应用。催化剂选择,并且反应温度、压力和时间等成为决定加氟反应的关键。借助Pd/C催化剂在松香加氧改性方面展示出来的高活性与选择特质,优秀的反应条件可以使得对于控制精度有所帮助,也可达到改善松香树脂性能之效果。自近些年开始,新颖型催干剂及工艺通过降低生产成本,提升产品品质以及减少环境污染三大方式不断在增加。松香改性高分子材料的研究也在深化,其次方向不仅提升了包括松香树脂的性质,而且增加在生物质基建筑普及中的潜在应用还广泛开展自然环境新科技进步成效寻找出路。

3 实验方法

3.1 实验材料与试剂

本研究松香加工厂和研究机构精选实验材料与试剂,目标确保加氢反应的高效且产物稳定。主要实验材料为经过严格预处理(如纯化和干燥)的松香树脂,以移除杂质并降低水分含量,从而在加氢过程中维持活性。加氢催化剂选择的是活性极高的Pd/C以其卓越的加氢能力和稳定特性而闻名,它可以在相对温和的环境下完成松香树脂有效地进行加氢。使用于实验中、具有非常高纯度的乙醇作溶剂、旺盛反应介质,并能提高松香树脂溶解度及反应效率;继此之后,在接触氧时采用普遍认可安全可靠并生产纯净产品高纯氢起到重要作用;计量操控所有试剂需精密透彻,才会保证准确无误且可复制性强劲结果^[3]。

3.2 实验设备

本研究中实验设备的选择和配置乃是加氢反应顺利推进的关键,100mL容积不锈钢高压釜为首选反应容器,其应具备承受重压与炽热环境的能力,必须保证提供一个安全稳定的加氢反应空间。保证精准控制各项温度和压力因素在其中,实验配备SHBIII型循环水式多用真空泵,这类泵拥有极好温度调控务必实时调整体系温度以确保精确性。超临界CO₂流体技术也在使用之列,此技术主导松香树脂中氢气溶解性提升,并通过动态温度及压力操纵物质在超临界条件下溶解状态变化以优化效率。催化剂生产、特征描绘过程X射线衍射(XRD)、X射线光电子能谱(XPS)等前沿设备引入其中,取得对催化剂微观结构及化学形态深刻洞察势必基于此来改善属性表现。

3.3 实验设计

实验设计采用了均匀设计方法,以确定松香催化加氢反应的最佳工艺条件。实验中考察了反应温度、压力、催化剂用量、溶剂用量、反应时间以及搅拌转速等多个因素对反应效果的影响。通过单因素实验确定了各因素的最佳水平,进而采用响应面法优化了工艺条件,确保产物的质量和产率。在优化条件下氢化松香产品的质量达到了特级标准,超过了GB/T1402092的指标要求^[4]。在动力学研究方面,通过改变温度和压力条件,测定了氢气在松香液中的溶解度,并建立了溶解度系数与温度的关系式。通过提高搅拌转速和减小催化剂粒度,消除了内外扩散的影响,使反应进入化学动力学控制区。在最佳反应条件下,对松香加氢反应的本征动力学进行了研究,确定反应机理和动力学方程。实验中还还对催化剂的重复使用性进行了考察,发现使用次数的增加,催化剂活性有所下降,这可能与催化剂的流失有关。通过EDS法对Pd/C催化剂中Pd含量进行测定,发现重复使用后Pd含量有所降低,表明催化剂在反应过程中存在流失现象。

4 结果与讨论

4.1 加氢反应条件对色度的影响

在本研究中,加氢反应条件,特别是温度和压力,对松香树脂加氢后产物的色度具有显著影响。通过超临界 CO_2 流体技术进行的加氢反应,由于氢气与超临界 CO_2 流体的混溶性,提高了氢气在松香中的扩散能力,从而加快了反应速率,并获得了色度较低的氢化松香产品。实验数据表明,反应温度的升高,枞酸含量降低,表明高温有利于提高枞酸的转化率,但同时也会增加歧化反应的速率,导致去氢枞酸含量升高。反应时间的延长有利于提高枞酸的转化率,但时间过长则对氢化组分总含量的提升作用有限。

4.2 加氢反应条件对纯度的影响

松香树脂的加氢反应要充分考虑到纯度,这是决定产物应用范围与性能表现的关键。各种加氢条件:温度、压力、时间,以及催化剂种类和数量对于产品精度具有重大影响。其中反应温度尤为重要,适当的温度可饱和双键并减少副反应生成,从而使得产品纯净程度提升;过高的则可能诱发副反应生成,产品纯净程度降低。而压力也作为一个关键因素持续影响着产物的纯净效果,在一定范围内增大压强可能会帮助提升氢在系统中溶解速率,并且让反应速率快些^[5]。但是过高的压力可能会引起反应体系的不稳定,导致产物纯度下降。

反应时间对纯度的影响同样重要,适宜的反应时间可以确保松香树脂中的双键充分加氢,而过度的反应时间则可能引入额外的副反应,影响产物的纯度。在实验中发现,反应时间的延长,枞酸含量不断下降,产品中氢化组分的总含量不断升高,但反应时间超过一定值后,对氢化组分总含量的提升作用有限。催化剂的种类和用量对加氢产物的纯度同样至关重要。选择适当的催化剂可以有效提高加氢反应的选择性,减少副产物的生成,从而获得高纯度的加氢产物。 Pd/C 催化剂因其高活性和选择性被广泛应用于松香树脂的加氢反应中。催化剂的用量需要精确控制,过量的催化剂可能会导致反应过度,反而降低产物的纯度。通过对加氢反应条件的精细调控,可以显著提高松香树脂加氢产物的纯度,从而拓宽其在胶粘剂、合成橡胶、涂料、油墨等领域的应用。

4.3 产物性能的综合评估

综合评估松香树脂加氢产物,色度、纯度、抗氧化性和软化点等多项指标都会被综合考量。目标是改变松香树脂

分子结构中的双键以降低色度并提高纯度,但还要保持或提升其物理性能。经过加氢处理后的松香树脂,其色彩大幅下降了,并且这主要来自优化后的反应条件—如控制适宜温度与时间,避免因过热导致的副反应。催化剂类型及用量对颜值有明显影响。 Pd/C 催化剂在相对宽缓条件下就可以实现高效加氢操作而减少副产物生成^[6]。通过减少松香树脂里面未发生反应的双键与污染去提升产品纯正程度。在监测松香树脂加氢前后各组分变化时,常采用高效液相色谱(HPLC)等分析技术,只为确保所得产物中必需组分的纯度符合工业应用标准。加氢产品综合性能的评估,耐氧化性占据着重要位置。事实是在高温环境下,其显著提升了松香树脂的耐氧化性。对于加氢前后的松香树脂而言,红外光谱法(IR)都是一种有效的结构表征方法。操作结束后会发现碳碳双键含量明显减少,并成功提升了产品耐氧化性能。作为衡量热稳定性指标之一,“软化点”的变动趋势则反映出这一反应如何影响物理属性,在最佳加氢条件下滴定“软化点”,使其变动幅度控制在可接受范围,旨在让它们避免损害到目标产品大规模生产中使用的原料。

5 结语

经系统优化后,松香树脂加氢反应条件成功使产物色度下降、纯度提升,综合性能得以显著提高。该实验结果既为松香树脂的改性制定了科学的工艺参数,同时也铺垫出一条坚实道路走向相关产品的工业化生产。未来研究重心落在催化剂循环利用和成本效益分析上,以期推动松香树脂加氢技术沿着可持续发展和工业应用的方向前进。

参考文献

- [1] 许健兴,徐社阳,申卫静.松香树脂油制备液体树脂的研究[J].广州化工,2022,50(18):89-91.
- [2] 晏明.松香树脂复合改性乳化沥青混合料路用性能研究[D].武汉:武汉理工大学,2021.
- [3] 许嘉琳.果蔬涂膜保鲜用松香树脂的制备及其保鲜性能研究[D].北京:中国林业科学研究院,2020.
- [4] 蒋琳.低温法制备高分散 Ni_2P 及其催化石油树脂加氢反应性能研究[D].杭州:浙江工业大学,2016.
- [5] 韦珍苑.松香树脂酸单离及其FCC废触媒负载镍催化加氢制备歧化松香胺研究[D].南宁:广西大学,2014.
- [6] 谢刚,黎贵卿,关继华,等.松香树脂酸酯化生产工艺优化及扩大生产[J].桂林理工大学学报,2013,33(2):355-358.

Research on the Application of Common Chemical Components in Medical Devices

Zhaodi Dong

Jilin Province Drug Evaluation Center, Changchun, Jilin, 130000, China

Abstract

With the rapid development of medical technology, medical devices play an important role in improving the quality of life of patients. This paper aims to explore the application of common chemical components in medical devices and provide a scientific basis for their safety and effectiveness. The paper adopts experimental analysis and literature review methods, focusing on the application of materials such as silicone rubber, polyethylene, stainless steel, etc. in medical equipment, and tests the physical and chemical properties and biocompatibility of these chemical components in clinical use. The results show that these chemical components are widely used in surgical instruments, implant materials, and medical peripherals due to their unique properties. In addition, strategies to optimize the application of these chemical components in medical devices, as well as potential directions for future new material development. The conclusions of this paper are of great significance for promoting the technological progress of medical devices and ensuring patient safety.

Keywords

medical device; chemical composition; physical and chemical properties; biocompatibility; technological progress

医疗器械中常见化学成分的应用研究

董照地

吉林省药品审评中心, 中国 · 吉林 长春 130000

摘 要

随着医疗技术的快速发展, 医疗器械在提高病患生活质量方面发挥着重要作用。论文旨在探讨医疗器械中常见化学成分的应用, 为器械的安全性和有效性提供科学依据。论文采用实验分析和文献综述方法, 重点分析了硅橡胶、聚乙烯、不锈钢等材料在医疗设备中的应用情况, 并测试了这些化学成分在临床使用中的物理化学性能和生物相容性。结果显示, 这些化学成分因其独特的性能被广泛应用于手术器械、植入材料和医用外围设备等方面。此外, 研究还提出了优化这些化学成分在医疗器械中应用的策略, 以及未来新材料研发的潜在方向。论文的结论对于推动医疗器械的技术进步和保障患者安全具有重要意义。

关键词

医疗器械; 化学成分; 物理化学性能; 生物相容性; 技术进步

1 引言

论文主要研究了医疗器械中的一些重要材料, 如硅橡胶、聚乙烯和不锈钢。讲述了这些材料在医疗器械中目前是怎么用的, 它们有什么特点, 以及它们安不安全。科学家们通过做实验和查阅很多资料, 发现了一些问题, 并提出了怎么改进这些材料的建议, 目的是让医疗器械更安全有效。论文的成果能帮助制造医疗器械的人更好地工作, 让我们用的医疗器械更好, 让病人用起来更放心。

2 医疗器械中常见化学成分概述

2.1 常见化学成分分类及其在医疗器械中的基本应用

医疗器械中常见的化学成分包括硅橡胶、聚乙烯和不锈钢等, 这些化学成分因为其优异的物理化学性质和良好的生物相容性, 被广泛应用于各种医疗设备中^[1]。

硅橡胶是一种高分子材料, 以其良好的弹性、耐高温和耐化学腐蚀性能著称。硅橡胶在医疗器械中的应用范围广泛, 如内窥镜部件、输液软管以及人工皮肤等。其柔韧性和可塑性使其适合用于各种需要接触人体的医疗设备, 不易引起过敏反应, 具备较高的生物相容性。

聚乙烯是另一种常见的高分子材料, 因其优异的韧性和较低的摩擦系数, 在医疗领域内广泛应用。聚乙烯常用于制造人工髋关节、膝关节以及各种导管材料。聚乙烯的化学

【作者简介】董照地 (1992-), 女, 中国吉林长春人, 本科, 助理工程师, 从事化学工程研究。

惰性使其在体内不易降解，能够长期保持其物理性质，从而提高医疗器械的使用寿命和可靠性。

不锈钢作为一种金属材料，因其强度高、耐腐蚀和生物相容性好，被广泛应用在外科手术器械和植入物中。不锈钢能够承受高强度的机械应力，适用于需要高机械强度和稳定性的医疗器械，如手术刀、手术钳和骨钉等。最为常用的不锈钢种类是 316L 不锈钢，其抗腐蚀性和机械性能尤为优越，被大量应用于体内植入物的制造。

这些化学成分的物理化学特性和生物相容性决定了其在医疗器械中的广泛应用^[2]。通过科学地选择和优化这些材料，可以提高医疗器械的性能和安全性，进而提升患者的治疗效果和生活质量。

2.2 化学成分的物理化学性质

化学成分的物理化学性质是影响医疗器械性能和应用的重要因素。硅橡胶作为一种常见的高分子材料，具有优异的弹性、耐高低温性能及化学稳定性，其在医疗器械中的应用范围广泛。聚乙烯以其高密度、耐磨损和抗化学腐蚀特性，常用于制造手术器械和植入物。不锈钢则因其优良的机械强度、耐腐蚀性和生物相容性，被广泛应用于外科手术工具和植入设备。这些化学成分的物理化学性质，如熔点、硬度、弹性模量等参数，直接影响医疗器械的加工性能和临床应用效果。例如，硅橡胶的低玻璃化温度和高热稳定性使其在高温灭菌条件下仍能保持性能稳定，而不锈钢的高硬度和抗氧化能力则确保了其在复杂环境下的长期使用。综合考虑这些化学成分的物理化学性质，对于设计和制造高性能医疗器械至关重要。

2.3 化学成分的生物相容性要求

生物相容性是评价医疗器械中化学成分安全性和有效性的关键指标，直接关系到患者的健康和器械的临床应用效果。化学成分在与生物体接触时，需要满足一系列严格的生物相容性要求，包括低毒性、低免疫反应、低炎症反应以及较好的细胞和组织兼容性。这些要求确保了化学成分不会引起机体的排斥反应或其他不良反应，从而避免器械在使用过程中对患者造成伤害。具体来说，生物相容性测试通常涵盖细胞毒性、致敏性、致突变性和致炎性等多个方面，以确保材料在临床应用中的安全性。不同种类的化学成分由于其化学结构和物理性质的差异，在生物相容性表现上可能存在显著差异^[3]。在选择用于医疗器械的化学成分时，必须根据其生物相容性测试结果进行慎重评估，以确保其在医疗应用中的安全性和有效性。

3 医疗器械中化学成分的安全性与有效性研究

3.1 实验分析方法介绍

在医疗器械中化学成分的安全性与有效性研究中，实验分析方法起到了至关重要的作用。为了确保医疗器械中常见化学成分的应用符合临床要求，采用了多种实验分析方

法，包括材料表征、物理化学性能测试和生物相容性评估。

材料表征是分析化学成分的物理化学性质的基础。采用扫描电子显微镜（SEM）和透射电子显微镜（TEM）对材料的微观结构进行观察，以了解其颗粒大小、形貌和分布。通过 X 射线衍射（XRD）和傅里叶变换红外光谱（FTIR）技术，可以对材料的晶体结构和化学键进行深入分析，从而确认其成分和结构的稳定性。

物理化学性能测试主要包括硬度、弹性模量、拉伸强度和热学性能等参数的测定。这些性能直接关系到化学成分在实际应用中的可靠性与耐用性。通过热重分析（TGA）和差示扫描量热法（DSC），可以测定材料的热稳定性和热行为；而通过动态机械分析（DMA），则可以评估材料在不同温度和频率下的力学性能变化。

生物相容性评估是衡量医疗器械中化学成分安全性的关键指标。采用细胞培养、体外细胞毒性测试和体内植入实验三种方法全面评估材料的生物相容性。在细胞培养和体外细胞毒性测试中，通过观察细胞增殖、形态和生理功能的变化来判断材料的生物相容性。在动物实验中，通过将材料植入实验动物体内，观察其引起的炎症反应和组织相容性，从而进一步评估材料的长时间生物稳定性。

通过这些综合性的实验分析方法，可以全面了解医疗器械中常见化学成分的性能，确保其在临床应用中的安全性和有效性。

3.2 硅橡胶聚乙烯不锈钢等化学成分的应用效果分析

硅橡胶因其优异的弹性、耐热性和生物相容性，在医疗器械中广泛应用于导管、密封圈和心脏瓣膜中。其弹性使其具有良好的形状记忆效应，耐热性保障了其在高温灭菌过程中的稳定性，而生物相容性则减少了组织排斥反应。聚乙烯作为一种高分子材料，主要应用于人工关节和骨骼替代物，其耐磨性和低摩擦系数在关节活动中显得尤为重要。聚乙烯的化学惰性和生物相容性使其在体内长期使用中不易引发炎症。不锈钢由于其高强度、耐腐蚀性和相对较低的成本，被广泛应用于手术器械、骨骼固定装置和牙科设备中。不锈钢的高强度确保了器械在使用过程中的稳定性和安全性，耐腐蚀性则保证了其在体液中的长期稳定性。这些化学成分在医疗器械中的应用效果显示，它们各自的独特性能在提升医疗器械的功能和患者的治疗效果方面都发挥了重要作用。

3.3 化学成分应用中的安全性和有效性评价

医疗器械中的化学成分安全性与有效性是评估其临床应用价值的关键指标。安全性方面，研究需系统考察化学成分在体内外的毒性、过敏反应及潜在致癌性，确保其在与人体接触过程中不会引发不良反应。有效性评价则通过实验验证材料在实际医疗应用中的性能表现，特别关注其耐久性、生物相容性和功能实现情况。硅橡胶和聚乙烯因其高稳定性和良好的生物相容性得到广泛应用；不锈钢则因其机械性能

优越,适用于各种外科手术器械。这些评价为医疗器械的精准设计与安全使用提供了科学依据。

4 医疗器械化学成分应用的优化策略与未来发展方向

4.1 优化现有化学成分应用的策略探讨

医疗器械中化学成分的应用需要在安全性与有效性之间取得平衡,针对现有化学成分应用的优化策略主要包括材料的改性、制造工艺的改进以及评估标准的强化。材料的改性是优化现有化学成分应用的重要途径之一。通过物理改性和化学改性,可以提升材料的抗老化性能、抗菌性能及生物相容性。例如,通过引入纳米技术,可使聚乙烯和硅橡胶材料获得更高的力学性能和稳定性,从而能够更好地适用于不同类型的医疗设备。

制造工艺的改进对优化化学成分的应用同样关键。先进的制造技术如3D打印、等离子体表面处理和高精度模具加工等,不仅能提升原材料的利用率,还能显著改善产品的表面特性和整体性能。例如,不锈钢材料经过等离子体表面处理,可以有效提升其耐腐蚀性能和生物相容性,从而延长产品使用寿命,提高安全性。

评估标准的强化则是确保化学成分优化应用效果的关键。建立更为严格和具体的评估标准,涵盖材料的物理化学性质、人体生物相容性及长期耐久性等方面,有助于提前发现潜在风险,确保医疗器械在临床应用中的安全性和有效性。加强对已上市产品的跟踪和反馈,依据最新的科学研究结果,适时调整评估标准及其适用范围。

通过材料改性、制造工艺改进及评估标准强化等策略,可以有效提升现有化学成分在医疗器械中的应用效果,进一步保障医疗器械的安全性和有效性,为病患提供更优质的医疗服务。

4.2 新型化学成分研发的需求与挑战

新型化学成分在医疗器械中的研发不仅是适应现代医疗需求的重要举措,也是推动技术进步的关键环节。需求方面,新材料必须满足更高的生物相容性、安全性和耐久性要求,确保在长期使用过程中不引发不良反应。新材料还应具备更优异的物理化学性能,如更高的强度、柔韧性和抗腐蚀性,以应对多样化的医疗环境。

在挑战方面,新型化学成分的研发需克服以下难题。一是材料的生物相容性和毒性测试,当前一些潜在的新材料由于缺乏长期数据支持,其生物安全性尚未完全确定。二是生产工艺的复杂性,新材料往往需要新的制造技术和设备,

增加了生产成本和时间。三是在新材料的市场准入和监管上,严格的审批流程和标准化要求给研发带来了巨大压力。

研发新型化学成分还需考虑环境友好性,减少对环境的污染,实现可持续发展。尽管面临诸多挑战,但研发新型化学成分是未来医疗器械技术进步的必然趋势,需各方协同努力,推动这一领域的持续创新。

4.3 未来医疗器械化学成分研究的发展趋势

未来医疗器械化学成分的研究将集中在新型材料的研发和现有材料性能的提升上。随着纳米技术和生物材料科学的进步,具有智能响应性的材料将被应用于医疗器械中,以提高其对生物环境的适应能力和功能性。绿色化学原则的应用有助于开发更环保、更安全的医疗器械材料。在生物相容性方面,研究将关注于材料在体内的长效稳定性和免疫原性,确保其在复杂的生物环境中不引发不良反应。数字化和信息技术的发展也将推动智能医疗器械的发展,通过整合化学传感器和信息处理技术,实现对患者状态的实时监测和治疗。

5 结语

论文通过系统的实验分析和文献综述,深入探讨了硅橡胶、聚乙烯、不锈钢等在医疗器械中的关键应用,并评估了这些常见化学成分的物理化学性质及其生物相容性。我们的研究成果表明,这些物质因其优异的性能,已在手术器械、植入材料和医用外围设备的制造中发挥了不可或缺的作用。实验结果为医疗器械的安全性和有效性提供了科学化的指导。然而,在当前科学研究领域,材料的选择与应用仍存在一定的局限性,尤其是对于长期植入体内的器械,化学成分的长期稳定性和生物相容性仍需进一步深化研究。此外,对于新兴的生物可降解材料、智能感应材料的开发与应用,我们建议在未来的研究中,各研究机构能够在材料创新和长期临床观察方面投入更多的资源和精力。最后,本研究所提出的优化策略,预计能够指导医疗行业在材料选择和器械设计方面作出更为精准的决策,同时为未来材料学、生物医学工程等相关领域的研究提供了新的视角和思路。

参考文献

- [1] 查显进,石强,邵峰,等.泽漆化学成分研究[J].中草药,2021,52(2): 341-348.
- [2] 李保利,申艳红,杜琳.卷丹化学成分研究[J].中药材,2021,44(11): 2578-2583.
- [3] 童玉玺.医疗器械包装的生物相容性评价与化学表征[J].中国医疗器械信息,2022,28(13):29-31.

Research on the Microstructure and Mechanical Properties of Titanium Alloy 3D Printed Materials in the Aerospace Field

Ruichen Sun

Shenyang Yicheng Technology Co., Ltd., Shenyang, Liaoning, 110000, China

Abstract

The paper reviews the current research status of titanium alloy 3D printing materials, explores the material properties of titanium alloys and their applications in aerospace, and analyzes in detail the microstructure non-uniformity caused by complex thermal history and cooling rate changes during the 3D printing process. This non-uniformity may have a significant impact on the overall performance of the material, especially in terms of tensile and fatigue properties. Subsequently, the influence of 3D printing technology on the microstructure of titanium alloys, including the control of printing parameters and microstructure characteristics, was analyzed in detail. The mechanical properties of titanium alloy 3D printing materials were studied, and the relationship between tensile and fatigue properties was explored. Finally, the effect of different heat treatments on material properties was analyzed, providing insights for titanium alloy 3D printing. The optimization design of alloy 3D printing materials provides a reference.

Keywords

titanium alloy; 3D printing; microstructure; mechanical properties

航空航天领域钛合金 3D 打印材料的微观结构与力学性能研究

孙瑞辰

沈阳易橙科技有限公司, 中国 · 辽宁 沈阳 110000

摘 要

论文综述了钛合金 3D 打印材料的研究现状, 探讨了钛合金的材料特性及其在航空航天中的应用, 并详细分析了在 3D 打印过程中, 由于复杂热历史和冷却速率变化所导致的微观结构非均匀性, 这种非均匀性可能对材料的整体性能产生显著影响, 尤其是在拉伸和疲劳性能方面, 随后分析了 3D 打印工艺对钛合金微观结构的影响, 包括打印参数的控制与微观组织特征, 对钛合金 3D 打印材料的力学性能进行了详细分析, 研究了拉伸性能和疲劳性能, 探讨了微观组织与力学性能之间的关系, 最后分析了不同热处理对材料性能的影响, 为钛合金 3D 打印材料的优化设计提供了参考。

关键词

钛合金; 3D 打印; 微观结构; 力学性能

1 引言

由于钛合金具有极佳的强度重量比、抗腐蚀性和高温性能, 在航天航空领域得到了广泛的应用。传统的制造方式存在着限制其更广泛应用的加工困难和大量浪费材料的问题。钛合金的制造工艺随着增材制造 (3D 打印) 技术的发展而有了很大的创新。3D 打印技术可以实现复杂形状部件的高效制造, 通过材料的层层添加, 材料浪费明显减少。在航空航天产业中, 制造钛合金轻量、高性能零部件普遍采用 3D 打印技术, 促进了零部件设计与制造方式的变革。对最终力

学性能产生重要影响的材料内部微观结构的非均匀性, 可能是 3D 打印过程中所涉及的复杂热历史和冷却速率造成的。

2 钛合金 3D 打印材料的研究现状

2.1 钛合金的材料特性

在航天航空领域, 钛合金占有举足轻重的地位。其比强度, 即材料的强度与密度之比, 使钛合金成为轻量化设计的首选材料, 其强度远远超过钢、铝合金等传统结构材料。对航空航天器而言, 重量的减轻意味着在提高飞行性能和经济效益的同时, 还能搭载更多的燃料或载荷。对于飞机发动机、导弹壳体等需要承受极端条件的部件来说, 钛合金还具有优异的耐高温性能, 能在 600℃以上的高温环境下保持稳

【作者简介】孙瑞辰 (1996-), 男, 中国辽宁沈阳人, 本科, 助理工程师, 从事钛合金变形机理和增材基础性能研究。

定的强度和抗氧化能力^[1]。钛合金的优异性能不仅表现在高比强度、耐高温等方面,在抗腐蚀性方面,钛合金的优异性能也是钛合金中的佼佼者。钛合金具有极高的抗腐蚀能力,在海水、酸性环境和航空燃料中都是如此,尤其适用于对材料耐腐蚀要求极为苛刻的军用飞行器和航天器。钛合金在长时间承受较高应力的条件下,仍能保持材料性能稳定,抗疲劳、抗变形能力较好。对于需要长时间飞行或在极端情况下工作的航天器部件,如机翼结构件和起落架等,这种特性显得尤为重要。

2.2 3D 打印技术在航空航天中的应用

增材制造技术打破了传统减材制造(如切削、铸造)在形状和材料利用率上的限制,通过材料逐层沉积的方式,可以直接从数字模型中生成复杂的三维结构部件。这一制造技术使得研发周期和生产成本大幅缩短,在设计和生产过程中可以迅速实现换代。高复杂度和高性能往往涉及航空航天领域对零部件的要求,而3D打印技术的应用恰好符合这一需求。通过3D打印技术,能够制造出涡轮叶片、燃烧室等内部结构复杂的钛合金部件和不仅重量轻,在极端环境下也能展现卓越性能的轻量化机身结构部件。

3D打印技术在提高航空航天零部件制造效率的同时,也为其设计和优化带来了新的机遇。传统制造方法由于受到加工工艺的限制,对设计师在零件设计时必须考虑工艺的可行性和经济性的要求形成了一定的制约。3D打印技术使设计师能够突破这一限制,创造出更符合力学和流体动力学要求的复杂结构件,从而在性能上得到进一步的提高。3D打印技术在航空航天领域的维护和备件供应链中同样具有举足轻重的作用,为降低维护成本和提高备件供应的可持续性提供了便利^[2]。3D打印技术可在飞行器操作地点进行“按需制造”,减少备件库存和物流费用,提高维护效率和反应速度,对延长飞行器寿命意义重大,特别是在远程或极端环境下,3D打印技术成为目前飞行器制造领域的一个重要趋势。

3 钛合金 3D 打印工艺对微观结构的影响

3.1 打印参数的控制

在最终成品的微观结构中,钛合金3D打印过程中的打印参数是至关重要的。打印参数主要包括直接影响材料熔池形态、冷却速度以及晶粒的形成和生长的激光功率、扫描速度、层厚度、预热温度和冷却速率等。影响熔池温度和能量输入的关键参数是激光功率(Laser Power)。若激光功率过大,熔池温度过高,则可能造成物料熔化过度,形成晶粒较大,表面粗糙的现象;但若激光功率过低,熔池温度不足,则有可能造成材料熔融不全,形成缺损,如孔隙、裂纹等,使材料力学性能受到影响。扫描速度与激光功率有很大关系,更快的扫描速度能降低热输入、提高冷却速度,对晶粒的细化有帮助,但也可能造成熔池不稳定、孔隙率增大;扫描速度变慢,可能造成晶粒变粗,料子韧性降低。

层厚度直接影响材料的致密程度和微观结构的均匀程度,是打印的另一个重要参数。厚层厚度能提高打印效率,但也可能造成层与层之间的结合不佳,出现层叠、毛孔粗大等瑕疵;而薄层厚度可以提高机件的致密性和表面光洁度,但会使打印效率降低,制造时间和制造成本也会提高。主要影响材料热应力和残余应力的是预热温度和冷却速度。较高的预热温度可以降低打印时产生的热应力,有助于减少裂纹的形成,但如果预热温度过高,则可能导致晶粒生长,对材料的力学性能造成影响,在打印过程中,热应力冷却速率对晶粒的生长有着重要的影响,而快速的冷却通常会造成晶粒的细化,从而使材料的强度和硬度都得到了提高;而缓慢降温则可能造成颗粒变粗,使料子韧性降低,不耐疲劳^[3]。钛合金3D打印过程中的微观结构优化,合理控制打印参数是必不可少的。

3.2 微观组织特征

在3D打印过程中,由于材料的微观组织与传统的制造方式存在明显差异,因此材料经历了快速的熔融和凝固过程。材料内部会因激光或电子束的快速扫描和多次重复加热而形成晶粒形态不规则、微观分层、柱状晶粒等复杂的微观组织特征。这些微观组织特征通常表现为高度的各向异性,也就是对材料力学性能会产生重要影响的不同方向的晶粒大小和形状的表现。例如,通常沿着热流方向生长的柱状晶粒,在拉伸或压缩载荷下表现出较高的强度和韧性等特定方向,可能导致材料具有优于其他方向的力学性能。

3D打印钛合金时,由于快速凝固和不均匀的冷却速率,材料内部容易形成残余应力和微观缺陷,这些残余应力有可能造成材料在后续使用过程中变形或开裂,从而降低材料的服役寿命。同样由于微观缺陷的存在如孔隙裂纹分层等,也会使钛合金的力学性能下降,如降低拉伸强度和疲劳寿命以及断裂韧性等,因此在实际应用中通常需要通过后续的热处理工艺来改善材料的微观组织特征并消除残余应力和微观缺陷,从而使材料的整体性能得到提高。

4 钛合金 3D 打印材料的力学性能分析

4.1 拉伸性能

钛合金3D打印材料在实际应用中的抗拉性能是考核其是否能够承受静负荷的一个重要指标。钛合金在航空航天领域广泛应用于结构件,以强度高、延展性好著称。3D打印技术可以通过对打印参数的精确控制,使钛合金材料具有与传统制造方法相媲美的抗拉性能,甚至可以达到更好的抗拉性能。微观组织特征通常会显著影响3D打印材料的拉伸性能。3D打印制备的钛合金材料,由于其特有的快速凝固和多次热循环,晶粒结构可能会直接影响到材料的屈服强度、抗拉强度和断裂延展性,表现出柱状晶体等轴状晶体或树枝状晶体等各种不同的微观组织特征。

拉伸性能检测一般包括测定材料的屈服强度、抗拉力、断

裂延伸率三个方面。研究发现,3D打印钛合金材料由于3D打印过程中急剧降温而产生的精炼晶粒效应,其屈服强度和抗拉强度往往比传统锻造材料更高。由于孔隙、裂纹、分层等微观缺陷的存在,断裂延展性可能会降低。尤其是这些微观缺陷在拉伸测试过程中,常成为应力集中的起始点,造成应变程度较低的材料断裂。拉伸性也受到材料内部残余应力的影响,这种应力通常会导致材料在拉伸载荷下提前屈服或脆性断裂,因为3D打印过程中冷却和热循环不均匀而产生。

使材料的拉伸性能得到优化,可通过调整打印参数及后续热处理工艺来实现。降低层厚度优化扫描策略以及适当提高预热温度,都能使材料得到更好的拉伸性能。适当的热处理,如退火或时效处理,能消除残余应力并使微观组织均匀化从而使材料的综合拉伸性能得到提高。对3D打印钛合金在航空航天结构中应用进行拉伸性能研究具有十分关键的作用,也是使3D打印技术在要求高的领域得到推广应用的其中之一。3D打印技术应用于航空航天结构件中的拉伸性能研究意义重大。对于材料在极端条件下仍能表现出优异的力学性能的保证。

4.2 疲劳性能

钛合金3D打印材料在循环载荷条件下,特别是在航空航天领域,其疲劳性能是评价其长期服役能力的重要指标,疲劳性能决定了结构件的使用寿命和可靠性^[4]。材料的抗疲劳性能直接影响到飞行器的安全性和维护成本,因为航天器在飞行过程中经常承受交变载荷。由于钛合金具有极佳的疲劳性能,3D打印技术为钛合金部件提供了一条制造复杂形状和内部结构的新途径,钛合金在高应力部件中的应用非常广泛。

通常3D打印钛合金材料比传统锻造材料的疲劳性能要低一些。这一现象主要归因于在疲劳测试中容易成为裂纹萌生源的3D打印过程中可能形成的孔隙、未熔区域等微观缺陷,从而在应力水平较低的情况下造成材料疲劳失效。若层间结合不良,材料在循环负荷下易产生分层裂纹,使疲劳寿命进一步降低,打印层与层之间的结合强度也直接影响疲劳性能。

减少空隙率和微观缺陷的形成,从而提高材料的疲劳强度,通过降低激光功率,提高扫描速度。后续的热处理工艺,如热等静压(HIP)处理,使物料内部的气孔、微裂等明显减少,并且都对微组织进行了优化处理,使疲劳性能得到改善。通过表面状态的改善和压应力的导入,如喷丸处理或激光表面熔覆等表面处理技术也能显著改善材料的疲劳寿命。这些工艺的优化为确保钛合金3D打印材料在极端环境下的可靠性和长寿命表现,在航空航天领域得到广泛应用打下了基础。

5 微观结构与力学性能的关联性研究

5.1 显微组织与力学性能的关系

3D打印过程中,材料内部常形成各种微观组织特征,

如柱状晶粒、轴状晶粒、树枝状晶粒等。通常沿着热流方向生长的柱状晶粒能够提供较高的强度在拉、伸荷载方向,这对于材料的抗拉力和抗疲劳性的提升都是必不可少的。柱状晶粒的各种相向性特性,可能会导致不同方向的材料力学性能出现显著的差异,从而对其整体力学性能产生影响。等轴晶粒通常能提供较均匀的力学性能,但在冷却速度和热梯度的熔池中,它们的生长是受到控制的。晶粒的大小和分布,对材料的韧性、强度、疲劳性等也有着不可忽视的影响。由于细小的晶粒有助于阻碍裂纹的扩展,改善材料的断裂韧性,因此精细的晶粒结构通常能够提高材料的强度和韧性。而粗大的晶粒则有可能在高应力集中点造成材料脆性增大、易断裂等问题。

5.2 不同热处理对材料性能的影响

热处理工艺可以改变材料的微观组织,从而对材料的力学性能进行优化,以满足不同应用场景的需要^[5]。退火处理一般用来使材料晶粒细化并消除打印过程中的残余应力,退火后可使材料的韧性和塑性有明显提高,同时也使材料的抗疲劳性能得到提高。时效处理通过在材料中析出强化相来增强材料的抗拉强度和硬度,使其在高应力环境下具有更好的稳定性。而热等静压处理,通过消除材料内部的孔隙和微裂纹,使材料的致密性得到显著提高,从而对材料的力学性能进行有效的提高。

6 结论

在3D钛合金打印材料应用于航空航天领域时,合理控制打印参数和优化热处理工艺是获得卓越力学性能的关键,具体地说就是能够对打印参数进行精确调整,如激光功率、扫描速度和层厚度等,以控制材料的晶粒大小和分布,并减少微观缺陷的产生,从而增强材料的抗拉强度和疲劳寿命。3D打印钛合金材料中,微观结构的均匀性和致密性是直接影响其可靠性和稳定性的重要因素,所以针对不同的应用需求,选择恰当的工艺参数和热处理方式是必不可少的,这对实现高性能钛合金3D打印零件的制造起着至关重要的作用。

参考文献

- [1] 刘浩,石永亮,党海青.挤出成形3D打印仿生骨植入钛合金支架制备工艺及性能研究[J].粉末冶金技术,2024,42(4):367-373.
- [2] 李风伟,谢英密,毛貽旻,等.粉末粒径对粘结剂喷射3D打印TC4钛合金致密度和性能影响[J/OL].特种铸造及有色合金,1-6[2024-09-01].
- [3] 王路,李贤海,刘宪翠,等.3D打印钛合金椎间融合器联合含PRP同种异体骨在ACDF中的应用效果[J].中华全科医学,2024,22(7):1133-1137+1174.
- [4] 潘黎.3D打印技术在钛及钛合金精密铸造工艺中的应用研究[J].信息记录材料,2024,25(6):49-51.
- [5] 吴建.3D打印钛合金的制备与组织性能研究[J].太原学院学报(自然科学版),2024,42(2):69-73.

Analysis of Anticorrosion Methods of Offshore Wind Power Facilities

Jinpeng Mao Wulei Dong

Zhongtian Ocean System Co., Ltd., Nantong, Jiangsu, 226010, China

Abstract

With the development of The Times, the social demand for electricity is constantly increasing, coupled with the need for environmental protection, the development of wind power this clean energy is very rapid. As an important part of wind power, offshore wind power facilities generally operate at sea, and due to strong sea winds, their power generation efficiency is also high. However, offshore wind power facilities will be eroded by seawater, and corrosion of equipment will occur, which will affect the function of wind power facilities and even cause safety risks. Therefore, it is necessary to anti-corrosion treatment for offshore wind power facilities. This paper starts with the offshore wind power facilities, analyzes the corrosion causes and hazards of the offshore wind power facilities, and then integrates the relevant data to formulate targeted anti-corrosion methods to ensure the function of the wind power facilities.

Keywords

offshore wind power facilities; seawater erosion; anticorrosion treatment; quality control

海上风电设施的防腐方法分析

冒金鹏 董吴磊

中天海洋系统有限公司, 中国 · 江苏 南通 226010

摘 要

随着时代的发展, 社会对于电力的需求不断提升, 再加上环境保护的需要, 风电这种清洁能源的发展就十分迅速。海上风电设施作为风电的重要一环, 一般在海上进行作业, 由于海风较强, 其发电效率也较高。然而海上风电设施会受到海水的侵蚀, 出现设备腐蚀状况, 影响风电设施的功能, 甚至造成安全隐患, 所以针对海上风电设施的防腐处理就十分必要。论文从海上风电设施入手, 分析海上风电设施的腐蚀成因以及危害, 然后综合相关数据, 制定针对性地制定防腐方法, 保证风电设施的功能。

关键词

海上风电设施; 海水侵蚀; 防腐处理; 质量控制

1 引言

海上风电设施作为承担电力生产的设施, 一般规模较大而且较为复杂, 面对海上复杂的气候环境, 风电设施很容易受到海水侵蚀的影响, 出现腐蚀状况, 影响设备的功能, 严重者还会对人员安危产生影响。所以海上风电设施发展环节, 就需要加强对防腐的重视, 规避腐蚀状况对设施的影响。然而海上风电系统的影响因素较多, 腐蚀的状况也十分复杂, 实际治理环节, 就还存在技术以及资金等方面的问题, 需要相关人员综合分析风电设施的腐蚀状况, 并在此基础上制定针对性的防控方法, 以解决设施的腐蚀状况。海上风电设施如图 1 所示。



图 1 海上风电设施

2 海上风电设施概述

2.1 概念

海上风电设施 (Offshore Wind Farms) 是一种利用风力

【作者简介】冒金鹏 (1993-), 男, 中国江苏南通人, 本科, 助理工程师, 从事海上风电研究。

发电的技术,其风力涡轮机安装在海洋上,以便捕捉海上的风能转化为电力。相较于陆地风电场,海上风电场通常能获得更强、更稳定的风力,因此可以生成更多的电力^[1]。

2.2 特点

首先,海上的风速一般比陆地要高且更加稳定,风电场的发电效率通常更高;其次,由于风电设施位于海上,远离居民区,可以减少对环境的视觉和噪声干扰;其次,海上风电场可以建设得很大,因为海洋面积广阔,可以容纳更多的风力涡轮机;最后,海上风电设施面临独特的技术挑战,例如风力涡轮机的基础建设、维护保养、海洋环境对材料的腐蚀等。

2.3 优势

由于海上的风力更强,发电效率通常高于陆地风电场。而且海上风电是清洁的能源,有助于减少温室气体排放。此外,海上风电产业的发展可以带动相关技术和服务行业的增长。

3 海上风电设施腐蚀的成因

海上气候变化多种多样,所以造成腐蚀的原因也就较多,需要相关人员结合实际进行分析,为后续的解决奠定基础。一是盐雾,海洋环境中的盐雾会加速金属部件的腐蚀过程,尤其是钢结构和其他金属部件;二是湿气和水分,频繁的湿气和水分接触会加速材料的腐蚀,特别是在暴露于海洋气候中时;三是生物附着,海洋生物如贝类和海藻的附着会改变材料的腐蚀速率,并可能加速结构的损坏;四是电解腐蚀,海水的导电性使得金属结构可能发生电解腐蚀,尤其是在金属部件之间存在电位差时;五是温度变化,海洋环境中的温度变化可能导致材料膨胀和收缩,从而增加腐蚀的风险。这些状况的存在都会造成严重的风电设施腐蚀,需要相关人员对这些状况进行深入分析,结合相关信息制定针对性地解决策略。

4 海上风电设施腐蚀的危害

海上风电设施的腐蚀对其性能和安全性带来了一系列潜在的危害,主要体现在以下方面:第一,腐蚀会削弱风电设施的金属结构(如钢桩和基础),降低其承载能力和结构稳定性,增加结构失败的风险;第二,腐蚀会加速设备的老化和磨损,从而缩短风电设施的使用寿命,增加维护和更换部件的频率和成本;第三,腐蚀导致的损坏需要频繁的检查和维护,海上维修作业尤其复杂且昂贵,维护成本显著上升;第四,如果腐蚀影响到风力涡轮机的关键部件(如发电机和变桨系统),可能导致发电效率下降或停机,从而影响整体电力产出;第五,腐蚀可能导致结构故障或设备失效,增加安全隐患,对操作人员和设备造成危险,甚至可能引发海上事故;第六,腐蚀物质可能释放到海洋环境中,对海洋生态系统造成潜在污染。虽然海上风电场通常不会直接释放有害物质,但腐蚀破坏的设备可能间接对环境产生影响。综上所述,海上风电设施腐蚀会造成严重的影响,对其进行治理就

成为行业发展的关键。

5 海上风电设施的防腐方法

5.1 合理设计防腐涂层

海上风电设施的防腐涂层是保护设备免受海洋环境中腐蚀性因素影响的重要手段,主要包括以下内容,需要相关人员结合实际进行设计:一是环氧涂层,环氧涂层具有极好的防腐性能,能有效隔绝水分和盐雾,而且可以与各种金属表面形成坚固的附着层。通常用于风电设施的钢结构、基础部分和其他暴露于海洋环境的金属部件。二是聚氨酯涂层,聚氨酯涂层具有优异的耐紫外线和耐高温性能。而且其对机械磨损的抵抗力强,适合高冲击和磨损环境。常用于风电设施的外层涂覆,用以增加抗紫外线和耐磨损性能。三是锌基涂层,锌涂层在电化学腐蚀中充当牺牲阳极,保护底层金属不被腐蚀。常用于风电设施的钢结构部分,如风机塔筒的底部和基础部分。四是富锌环氧涂层,富锌环氧涂层含有较高比例的锌粉,对金属提供了额外的电化学保护。其与底材的附着性强,适用于钢铁表面。还可以用于海上风电设施的钢结构部分,尤其是在长期浸泡在海水中的结构。五是陶瓷涂层,陶瓷涂层对高温、化学腐蚀和机械磨损具有良好的抵抗力。涂层非常耐用,适合极端环境下使用。主要用于关键部件,如变桨系统和发电机外壳;此外还有复合涂层系统,该系统结合了不同类型涂层的优点,通过多层涂层系统提供综合保护,可以根据特定的环境条件和需求定制涂层组合。常用于需要额外保护的区域,如风机塔筒的底部和转子叶片。

选择涂层时,还需要综合考虑以下因素:首先,考虑海洋环境条件,不同涂层对盐雾、湿气和温度变化的耐受能力不同,需要根据具体的海洋环境选择合适的涂层;其次,考虑材料兼容性,涂层必须与底材具有良好的附着性,避免脱落或剥离;最后,重视成本和维护,高性能涂层通常成本较高,但能减少长期维护和更换成本。通过合适的防腐涂层和维护措施,可以显著延长海上风电设施的使用寿命,降低维护成本,提高整体经济效益。

5.2 牺牲阳极保护技术

牺牲阳极保护是一种广泛用于海上风电设施防腐的有效方法,特别适合保护钢结构等金属部件免受海洋环境腐蚀的影响。牺牲阳极保护也称为阴极保护,其基本原理是利用比结构金属(如钢)更易腐蚀的金属作为阳极,通过电化学反应保护结构金属不被腐蚀^[2]。牺牲阳极在腐蚀过程中会先于结构金属发生腐蚀,从而保护主要结构。

作业环节,常见的牺牲阳极材料包括以下几种:首先,锌阳极,锌是一种常用的牺牲阳极材料,因其具有良好的电化学性能和经济性,广泛应用于海洋环境;其次,铝阳极:铝合金阳极通常用于更具挑战性的海洋环境,特别是在温暖的海水中;最后,镁阳极,镁阳极用于低电位腐蚀环境,如淡水环境,虽然在海洋环境中不如锌和铝阳极常见。

应用环节,在海上风电设施中,牺牲阳极保护主要用于钢结构基础,如桩基和支撑结构,这些部件直接接触海水,容易受到腐蚀。此外,还有金属结构和设备,如风机的钢制支撑结构和海底电缆的金属护套。

安装环节,阳极应安装在金属结构的暴露部分,以确保最大程度地提供保护。阳极可以通过焊接、螺栓连接或其他方式固定在结构表面。需要注意的是,阳极会随着时间的推移被腐蚀,因此需要定期检查和更换,以保证其有效性。

相较于其他技术而言,牺牲阳极提供了一种可靠的保护方式,能够有效减少海洋环境中的腐蚀。而且牺牲阳极的维护相对简单,通常只需定期检查和更换阳极即可。但是牺牲阳极在使用过程中会逐渐被腐蚀,需定期检查和更换。而且虽然牺牲阳极的初始成本较低,但长期维护和更换可能增加总体成本。此外,牺牲阳极在腐蚀过程中会释放一定量的金属,需注意对海洋环境的潜在影响。综上所述,牺牲阳极保护是一种成熟且有效的防腐技术,在海上风电设施中广泛应用,能够有效保护金属结构免受海洋环境腐蚀的影响。然而,为了确保最佳效果,通常需要与其他防腐措施结合使用,并进行定期维护和检查。

5.3 合理选择防腐材料

海上风电设施的耐腐蚀材料选择至关重要,合适的材料可以应对严酷的海洋环境,常见的防腐材料主要有以下几种:一是不锈钢,该材料耐腐蚀性强,尤其是316L型不锈钢,适合于海洋环境中的关键部件;二是防腐涂层,主要包括环氧树脂涂层、聚氨酯涂层和富锌底漆,这些涂层能够有效隔离金属表面与腐蚀性介质接触;三是合金材料,如高镍合金和钛合金,这些材料具有优异的耐海水腐蚀性能;四是耐腐蚀混凝土,主要用于结构基础,添加了抗氯离子和抗硫酸盐的特种添加剂^[3]。实际防腐环节,选择材料时需考虑环境条件、成本和长期维护需求。

5.4 优化海上风电设施的结构设计

合理的结构也能够一定程度上规避腐蚀,海上风电设施就需要合理地对风电结构进行优化。首先,优化结构形状,减少积水和积盐的地方,避免复杂的结构缝隙和死角,降低腐蚀风险;其次,有效的排水系统可以防止水分积聚在结构部位,减少腐蚀风险;最后,还需要设计便于监测和维护的结构,确保定期检查和维修,及时发现并处理腐蚀问题。通过这些手段,就能够对现有的海上风电设施的结构进行优化,从而规避可能存在的腐蚀状况。

5.5 规避外界环境的影响

外部环境是导致海上风电设施腐蚀的关键,对外界环

境的隔绝就成为防腐的关键,需要相关人员通过以下手段进行设计:第一,要选择较少受侵蚀影响的海域,避免强腐蚀环境和极端天气条件;第二,要设计风电设施以承受风速和降雨量,减少环境对结构的影响;第三,应实时监测风速、湿度和盐度等环境因素,以便及时采取防护措施;第四,需要定期清洁设备表面,去除盐分和沉积物,减少腐蚀源;第五,可以使用防风网或遮挡设施减少风速和海盐喷雾对设备的直接影响;第六,需要安装盐水喷雾清洗系统,定期清洁设备表面,减少盐分积聚。并且设计有效的排水系统,防止积水和腐蚀性液体对设备造成影响^[4]。通过上述手段,就能够一定程度上规避外部海洋环境对风电设施的影响,对腐蚀状况进行控制。

5.6 需要制定合适的应急预案

应急预案可以在腐蚀状况发生后第一时间进行解决,尽可能降低对设施的影响,需要相关人员通过以下手段进行设计:第一,要制定详细的应急响应流程,包括人员分工、通讯方式和应急操作步骤;第二,要准备防腐材料、工具和替换部件,以便在发现问题时迅速修复;第三,应设置快速检测系统,及时发现腐蚀问题,并快速定位受损区域;第四,要对维护人员进行定期培训,确保他们能够熟练应对防腐相关的突发情况;第五,需要设计应急修复方案,包括临时保护措施和长期修复计划,减少设备停机时间。

6 结语

在生态环境日益恶化的今天,风力发电作为一种较为环保的发电方式一直以来受到人们的欢迎和认可,海上风电由于其资源丰富、不占用土地、靠近能源负荷中心、发展潜力巨大更是备受关注。海上风力发电设备为国家节省了大量的资源,因此关于海上风力发电的开发和维护就显得尤为重要,对于海上风电设施的防腐也是重中之重,在其材料防腐方面选择上应结合实际工况以高标准来保证设备的设计寿命。

参考文献

- [1] 玄晓阳,白润昊.腐蚀监测系统在海上风电场的实例应用分析[J].全面腐蚀控制,2020,34(9):81-86.
- [2] 兰志刚.海上风电防腐系统的污染物释放源及其对海洋环境的影响[J].全面腐蚀控制,2022,36(10):104-108.
- [3] 任伟,陈有登,谢志猛,等.海上风电防腐研究现状与前景[J].应用能源技术,2022(2):49-52.
- [4] 任伟,陈亚宾,徐华利,等.海上风电设备腐蚀机理及腐蚀现状研究[J].船舶工程,2021,43(S1):1-5.

Research on Conductivity Enhancement and Lightning Protection Technology of Carbon Fiber Composite Materials in Aircraft Skin

Chenyang Fan

Jiangsu Xinyang New Material Co., Ltd., Yangzhou, Jiangsu, 225100, China

Abstract

With the development of aviation industry, the performance requirements of aircraft materials are increasing day by day. Carbon fiber composites are widely used in aircraft structures because of their excellent mechanical properties and lightweight properties. However, the inherent weak electrical conductivity of the carbon fiber composites poses challenges to the safety of the aircraft in the lightning strike environment. Therefore, enhancing the electrical conductivity of carbon fiber composite material and improving its lightning protection performance has become the focus of current research. The paper deeply analyzes the structure and mechanical properties, conductivity mechanism, and the influence of interface effects on conductivity of carbon fiber composite materials. It explores various technical means to enhance conductivity and lightning protection techniques, in order to provide theoretical basis and technical support for the design and application of carbon fiber composite materials.

Keywords

carbon fiber composite materials; enhanced conductivity; lightning protection technology; aircraft skin; material modification

碳纤维复合材料在飞机蒙皮中的导电性增强与防雷击技术研究

范晨颖

江苏新扬新材料股份有限公司, 中国 · 江苏 扬州 225100

摘 要

随着航空工业的发展, 对飞机材料的性能要求日益提高。碳纤维复合材料因其优异的力学性能和轻质特性, 被广泛应用于飞机结构中。然而, 碳纤维复合材料的固有导电性较弱, 给飞机在雷击环境中的安全性带来了挑战。因此, 增强碳纤维复合材料的导电性并提高其防雷击性能成为当前研究的重点。论文深入分析了碳纤维复合材料的结构与力学性能、导电机理, 以及界面效应对导电性的影响, 探讨了多种增强导电性的技术手段和防雷击技术, 以期碳纤维复合材料的设计与应用提供了理论依据和技术支持。

关键词

碳纤维复合材料; 导电性增强; 防雷击技术; 飞机蒙皮; 材料改性

1 引言

随着航空工业的发展, 对飞机蒙皮材料的性能要求越来越高, 不仅要具备轻量化、高强度的特点, 还必须具备良好的导电性和防雷击能力。碳纤维复合材料由于优异的力学性能和轻质特性, 已成为现代飞机蒙皮材料的主要选择。然而, 碳纤维复合材料本身的导电性不足以满足防雷击的要求。因此, 如何通过材料改性技术提高碳纤维复合材料的导电性, 并在此基础上开发有效的防雷击技术, 成为当前研究的重点。论文旨在通过分析碳纤维复合材料的基础性能及其

导电机理, 探讨增强其导电性的技术手段。

2 碳纤维复合材料的基础性能分析

2.1 碳纤维复合材料的结构与力学性能

碳纤维复合材料由基元碳原子组成的长链状纤维与聚合物基体紧密结合而成, 其中基元碳原子构成纤维的主体, 边缘碳原子则位于纤维的末端或缺陷处, 这些结构使材料具有强度高、模量高、密度低等优异的力学性能。碳纤维具有较高的轴向拉伸强度和弹性模量, 而基体则起着传递载荷的作用, 使复合材料在承受外部应力时表现出极佳的抗疲劳性和耐腐蚀性。

【作者简介】范晨颖 (1995-), 女, 中国江苏南通人, 助理工程师, 从事材料科学研究。

2.2 碳纤维复合材料的应用概况

碳纤维增强树脂基复合材料(CFRP)在飞机结构上的应用比例逐年提高,不仅使飞机重量大大降低,燃油效率得到提高,而且增强了飞机的耐久性和安全性,机械性能十分出色。例如,波音787“梦想”号客机上复合材料用料占比达到飞机总质量的一半以上,空客A230客机上复合材料用量占比达30%,新一代的战斗机复合材料的用量占比大于20%,未来期望在国产C929大飞机上实现复材使用量大于50%的目标。

2.3 碳纤维复合材料的导电性能

碳纤维复合材料的导电性能主要源于碳纤维本身优异的电导特性。碳纤维内部的石墨微晶结构提供了良好的电子传导路径,使得电流能够沿着纤维轴向高效传输。在复合材料中,碳纤维形成网络状结构,通过纤维间的接触形成导电网络,实现电子传递^[1]。但是,浸润于碳纤维丝之间的树脂基体的绝缘性导致碳纤维和树脂之间的界面难以形成连续的导电路径,阻碍了电流从一根纤维向另一根纤维有效地传递。同时,在实际中界面区域可能会因纤维表面的粗糙度、缺陷等因素形成阻隔层,进一步阻碍电子的自由流动。所以,不经过改性的复合材料通常情况下整体的导电性较差,难以有效疏导雷击电流。

3 飞机蒙皮对导电性和防雷击性能的要求

3.1 飞机蒙皮的结构设计与功能要求

飞机蒙皮是机身外部的覆盖层,由蒙皮、加强肋、翼梁、前墙、后墙、翼肋、桁条和接头等部件组成,蒙皮主要负责保护飞机内部结构不受外界环境的影响,并提供空气动力学外形以减少飞行阻力。加强肋和翼肋分布在蒙皮内部,用以支撑蒙皮,保证其在飞行过程中能够抵抗气动载荷引起的变形。翼梁是机翼的主要承力构件,连接前墙和后墙,承受弯曲载荷和剪切力。桁条则沿机翼长度方向布置,用于增强机翼的纵向刚度。接头则用于连接蒙皮与其他结构件,确保整体结构的完整性和稳定性。除了结构强度要求外,飞机蒙皮还需具备良好的导电性能,以确保能够有效分散雷击产生的电流,防止因雷击引发的电气系统故障或火灾等危险情况。

3.2 主要飞机制造商的蒙皮材料选择

为减轻飞机重量,提高燃油效率,增强结构耐久性,飞机蒙皮越来越多采用碳纤维增强树脂基复合材料(CFRP)。但是,相对于传统金属机身而言,使用复合材料制造的飞机更容易在雷电环境中遭受严重的雷击破坏。遭遇雷击时,焦耳加热会使得蒙皮雷电附着区周围的温度突然升高,导致树脂基体熔化、升华或蒸发,产生热气体。由于热膨胀和收缩,这些热气体被截留在层压板中会产生瞬态机械载荷,导致碳纤维复合材料层压板分层、穿刺和纤维断裂,最终造成飞机结构强度和刚度下降而失效。另外,飞机遭受雷击损伤后,留在材料上的电荷会直接冲向导体,在接触的过程中产生火

花,在飞机内部的金属液压管道、燃油系统管道及电缆诱导出高闪电电流和电压,可能会引起火灾,影响飞行安全,造成灾难性后果。除此之外,初始的雷电损失可能引起的结构破坏,导致气动载荷变化、结构的振动响应或引起动力系统失常等二次损伤甚至事故。因此,采取防雷防护措施,提升飞机复合材料构件导电性,保证飞行安全,一直是各国攻克的重要难题。

3.3 防雷击技术的基本原理

防雷击技术的基本原理在于保护飞机表皮等关键结构不受损害,通过构建有效的导电网络,确保雷电流能够快速均匀地分散。该网络通常由覆盖在飞机表皮表面的导电材料构成,或者在复合材料内部嵌入。当雷击发生时,通过飞机上的接闪器(如翼尖、尾锥等突出部位)导入雷电流,然后沿着预先设计好的导电路径迅速传导到机体其他部位,最后通过机翼边缘导入大地,也可以通过其他接地装置将雷电流输送到地面。导电网络必须具有足够的导电性和良好的电流分布特性,以确保电流不集中于某一点而均匀分散,以防止雷电流在传导过程中造成局部过热或产生电弧^[2]。为了增强材料的导电性能,提高雷击防护效果,还需要在关键部位加装防雷击涂层或添加导电填充物。

3.4 导电性对防雷击性能的影响

当雷电发生时,为避免局部地区产生过高的热能,而造成结构损坏或引发火灾,需要使雷电流迅速而均匀地分散开来。良好的导电性能可以保证雷电在蒙皮表面或内部流通的导电网络迅速传导到地面,减少电流停留在蒙皮上的时间,防止局部过热引起电流集中。决定电流能否均匀分布,避免电弧或火花的形成,从而保护飞机电子设备和乘员安全的导电网络的设计和材料的选择也至关重要。若蒙皮材料导电性不足,在传导过程中雷电流会遇到较大的阻力,从而在一些可能破坏蒙皮结构或破坏机载系统的薄弱环节造成能量的集中释放。因此,飞机蒙皮的抗雷击性能可以得到显著提升,确保遇到雷击时能够有效分散电流,确保飞行安全,通过增强蒙皮材料的导电性,优化其导电网络的设计。

4 碳纤维复合材料导电性增强技术

早期的雷击防护方法是在复合材料表面火焰喷铝,如波音787、歼-11B系列、歼-15系列、歼-16系列,增重明显不具备持续防护能力。后期逐渐采用导电金属网复合表面膜替代喷铝工艺,如中国无侦-9飞机、攻击-11无人机和某型歼击机,大大降低了飞机的重量,节省了制造周期。为了在相同雷击防护效果的前提下进一步减重,国内外大量投入开发本体防雷击复合材料导电技术,其主要改性方法为将各种不同结构形态的导电结构引入到复合材料结构中,引入后带来的增重较少,方法主要有直接掺杂到树脂基体中、喷涂到纤维表面和以薄层的形式插层于复合材料层间。

4.1 碳纤维表面改性技术

碳纤维表面改性技术是通过物理或化学的方式，在碳纤维表面形成一层均匀、致密的导电层。将一层导电氧化物或导电聚合物如聚苯胺、聚苯醚等通过溶胶—凝胶技术沉积在碳纤维表面，或采用物理气相沉积技术（PVD）将铝、铜、银等导电金属沉积在碳纤维表面，形成一层均一导电层^[3]。通常情况下，为了保证导电层能牢固地附着在碳纤维表面，须利用等离子技术进行活化处理，引入羟基、羧基等极性官能团，增加碳纤维表面活性位点。

4.2 碳纳米管防雷击表面膜技术

碳纳米管（CNTs）作为纳米材料，重量轻，比表面积大，具有高模量和高强度，具有良好的电学性能和传热性能，其电导率通常可达到铜的一万倍。将各种碳纳米管的宏观体如碳纳米管纸（又称巴基纸）、碳纳米管薄膜（CNF）与树脂复合制成碳纳米管防雷击表面膜，与碳纤维复合材料共固化后，可使整体结构在维持良好的强度、弹性、抗疲劳性的同时极大地改善导电性能。某型战机的翼尖整流罩的防雷击复合材料蒙皮，是对纳诺科莫（Nanocomp）公司的巴基纸进行取向并与双马树脂复合，制备出的碳纳米管含量达 60wt% 的复合材料。其基本力学性能与常用 IM7 碳纤维增强复合材料基本相当，同时在取向方向上电导率高达 5500S/cm，重量与铺贴铜网相比每平方米减重 120g，且不易剥落，也不会发生电偶腐蚀。最新研究还将银纳米颗粒用于改进碳纳米管宏观体，不仅可以提高宏观体的导电性（约为未经处理的碳纳米管的 10 倍，约为一般聚合物基复合材

料的 5000 倍），还能为了保护延伸电流传导提供熔化的银骨架，大大提高了雷击防护能力。测试表明模拟雷击试验后银纳米颗粒改性碳纳米纸 / 碳纤维复合材料仍能保持 91% 左右的极限抗压强度和 92% 左右的抗弯强度。

4.3 碳纳米填料改性树脂基体技术

从成本考虑，对树脂基体添加 CNTs、石墨烯、碳纳米纤维等导电填料进行改性，以提高复合材料的导电性和抗雷击性能是当前较优选的解决方案。关键工艺是使用高能混合设备如高剪切混合机、超声波分散器，将导电填料粒子均匀分散在树脂中，并尽快进行树脂基体与碳纤维的复合加工以避免填料沉降或聚集，确保最终材料的导电性能达到预期标准。美国 WRIGHT PATTERSON 空军基地的材料与制造研究部与代顿大学研究所（UDRI）联合研制出了电导率 $10^6 \sim 10^5 \text{S/cm}$ 之间可调的聚合物基复合材料，并已应用于 F-35 飞机电磁屏蔽 / 电磁兼容结构上，起到了减重、改善维护性、提高机动性和耐久性以及保持设备与电子系统可操作性的效果^[4]。

4.4 导电性增强技术实际效果评估

相较于传统铝合金，未经处理的碳纤维复合材料（CFRP）导电率较低，导致雷电流分散不均，表面温度升高明显，并伴有明显损伤，如表 1 所示。然而，通过表面改性和碳纳米材料复合技术，CFRP 的导电率分别提升至 $2.0 \times 10^5 \text{S/m}$ 和 $5.0 \times 10^5 \text{S/m}$ ，显著改善了雷电流的均匀分散，降低了表面温度变化，并几乎消除了材料损伤，从而显著提升了防雷击性能。

表 1 导电性与防雷击性能的实际效果

指标 / 材料	传统铝合金	CFRP（未经处理）	CFRP（表面改性）	CFRP（碳纳米材料复合）
导电率（S/m）	3.5×10^7	1.0×10^5	2.0×10^5	5.0×10^5
防雷击测试	通过	未通过	通过	通过
雷电流分散	均匀	局部集中	均匀	均匀
表面温度变化	+20℃	+120℃	+30℃	+25℃
材料损伤程度	无损伤	明显损伤	轻微损伤	无损伤

5 结语

碳纤维复合材料在飞机蒙皮中的应用比例逐年提升，发展结构—防雷击功能一体化的复合材料是未来的重要发展方向之一。碳纤维表面改性、碳纳米材料防雷击表面膜以及树脂基体添加导电填料的技术可以显著改善复合材料结构的导电性能，在防雷击测试中能够有效分散雷电电流，降低表面温度变化，并减少材料损伤。未来，随着技术的不断进步，碳纤维复合材料将进一步优化导电性能，为飞机的安全和性能带来更大的提升。

参考文献

[1] 肖春芳,邵林发.飞机碳纤维复合材料蒙皮激光除漆技术的研究进展[J].光学技术,2024,50(2):150-159.

[2] 郑学博.飞机结构中碳纤维复合材料的应用研究[J].中国设备工程,2023(7):92-94.

[3] 卢鑫.镀铜碳纤维复合材料的制备及其雷击防护性能研究[D].重庆:重庆交通大学,2024.

[4] 欧阳宏志,姚学玲,孙晋茹,等.碳纤维复合材料雷电电磁环境的仿真研究[J].计算机仿真,2020,37(4):81-86.

Detection and Analysis System for Ceramic Feeding Process Development

Fang Liu¹ Liping Wang¹ Jianning Yang¹ Qiong Wen² Hai He²

1. BYD Precision Manufacturing Co., Ltd., Shenzhen, Guangdong, 518118, China

2. Huizhou BYD Electronics Co., Ltd., Huizhou, Guangdong, 516083, China

Abstract

This paper comprehensively introduces the process of establishing the ceramic feeding process testing and evaluation system. The system covers the whole process of formula selection, sample performance evaluation and quantity and product quality control. Through the solvent parameter test, melting index test, density test and other means, the material development and product development process are data and systematic. For example, organic component materials are selected according to the solvent parameters, and the properties of feeding and injection billet are evaluated according to the melting index and density. This system effectively improves the efficiency of research and development to mass production, provides a reference for the industry, and is of great significance to the development and mass production of ceramic feeding.

Keywords

ceramic feeding process; solubility parameter; density testing; melt index; dielectric constant analysis; product microstructure analysis

陶瓷喂料工艺开发的检测分析系统

刘芳¹ 汪丽萍¹ 杨剑宁¹ 文琼² 何海²

1. 比亚迪精密制造有限公司, 中国 · 广东 深圳 518118

2. 惠州比亚迪电子有限公司, 中国 · 广东 惠州 516083

摘 要

论文全面介绍了陶瓷喂料工艺检测评价体系的建立过程。该体系覆盖配方选型、样品性能评估及量产品质管控全过程, 通过溶度参数测试、熔融指数测试、密度测试等多种手段, 将材料开发及产品开发制程数据化、体系化。例如, 依据溶度参数选择有机组分材料, 根据熔融指数和密度评估喂料和注塑坯体性能等。此体系有效提升了研发到量产的效率, 为行业提供参考, 对陶瓷喂料的开发和量产具有重要意义。

关键词

陶瓷喂料工艺; 溶度参数; 密度测试; 熔融指数; 介电常数分析; 产品微观结构分析

1 引言

智能穿戴设备是指对日常穿戴的设备进行智能化设计, 而形成的可穿戴设备, 如智能手表、手环等。而随着电子技术发展, 智能穿戴设备的生产成本降低, 且功能更加丰富, 开始逐渐流行起来。2017 年到 2024 年全球可穿戴设备出货量呈逐年增长态势, IDC 预期穿戴式装置在未来 5 年的复合增长率为 5.1%, 2026 年穿戴式设备出货量将达到 6.28 亿台。纳米复合氧化锆材料作为一种新材料在智能穿戴领域展现了越来越大的优势, 它高硬度、耐磨损、亲肤性、不过敏、散热性、均热性好、不屏蔽信号、色泽温润、适于批量生产、成本低, 需求量在智能穿戴领域水涨船高, 其研发制备相关

技术也开始备受关注。论文研究了贯穿陶瓷喂料技术从配方基础研究到生产品质管控的完整的测试体系的建立过程。

2 陶瓷喂料工艺的检测分析系统建立目标

本研究从一系列的测试手段, 来指导陶瓷喂料的研发。从初期的配方选型, 到样品性能评估, 再到后期量产品质管控, 形成陶瓷喂料的全面评价体系。

3 陶瓷喂料工艺的检测分析系统建立过程

3.1 溶度参数测试指导配方有机组分材料选择

溶剂对有机聚合物的溶解能力以及不同有机聚合物之间相容性的判定依照溶度参数 δ 相近原则, δ 值接近于相互溶解。在陶瓷喂料初期的配方有机组分材料选型过程中, 测试了多种有机聚合物的溶度参数见表 1, 从表 1 中选择 $0 \leq \Delta \delta < 2$ (其中 $\Delta \delta$ 为有机聚合物的溶度参数差值) 的材料按比例混合, 得到所需的有机聚合物混料。

【作者简介】刘芳 (1979–), 女, 中国湖南人, 硕士, 工程师, 从事材料研究。

表 1 有机聚合物溶度参数测试汇总

材料	聚四氟乙烯 PTFE	聚三氟氯乙烯 PCTFE	聚二甲基硅氧烷 PDMS	聚氧化丙烯 PO
溶度参数 δ (cal/cm ³) ^{0.5}	12.7	14.7	14.9	15.3
材料	聚乙烯 PE	聚异丁烯 PIB	聚丁二烯 PB	聚异戊二烯 PI
溶度参数 δ (cal/cm ³) ^{0.5}	16.4	17	17.2	17.4
材料	邻苯二甲酸二辛酯 DOP	聚苯乙烯 PS	聚甲基丙烯酸甲酯 PMMA	邻苯二甲酸二丁酯 DBP
溶度参数 δ (cal/cm ³) ^{0.5}	18.2	18.5	18.6	18.6
材料	聚丙烯 PP	环氧树脂 EP	聚氨酯 PU	聚甲基丙烯酸 PMAA
溶度参数 δ (cal/cm ³) ^{0.5}	19.0	19.9	20.5	21.9

3.2 熔融指数测试评价喂料流动性强弱

熔融指数是指在一定温度和压力条件下，一定时间内通过标准口径毛细管的质量或熔融体积，可以用来评价喂料流动性强弱。表 2 测试了 3 种喂料在 200℃下的熔融指数，发现喂料 2、3 满足熔融指数 (@200℃，g/10kg/10s) > 10g/10kg/10s，表明喂料 2、3 流动性相对较好，对后续注塑坯体有利。

表 2 不同喂料测试熔融指数情况

喂料	熔融指数 (@200℃，g/10kg/10s)
1	8.52
2	13.40
3	15.42

3.3 密度测试评价注塑坯体均匀性、外观状态

一般来说，陶瓷喂料流动性好，注塑过程坯体密度分布均匀，能得到外观完好的注塑坯体。本实验要求注塑坯 6 点密度差值 < ± 0.05；注塑坯外观完好、无熔接线及裂纹。通过表 3 可知，喂料 2、3 的注塑坯体密度满足规定要求且目视外观状态完好，表明其坯体更均匀。

表 3 不同喂料注塑坯体密度差值及外观情况

喂料	注塑坯 6 点密度差值	注塑外观情况
1	± 0.05	有熔接线
2	± 0.02	注塑坯外观完好
3	± 0.02	注塑坯外观完好

3.4 材料热分析测试指导注塑坯体热脱脂曲线设置

注塑后需要对喂料中的有机组分进行高温脱脂，在这个过程中有机组分可能存在剧烈放热从而导致注塑片变形开裂的风险。对上述 2 号和 3 号喂料进行热分析测试，发现喂料均存在两个明显的放热区间，说明设计的配方具备分区热解的基础：峰 1 区间内，部分组分分解，其余部分有机物则提供保型所需的结构强度；当温度提升到峰 2 区时，无机材料的烧结强度提升则可以抵抗有机物剧烈分解。本实验进一步测试了不同升温速率对于放热区间的影响，可以发现随着升温速率提高，热分解反应的起始温度 Ti，峰温 Tp 和终止温度 Te 均升高。具体的热分析数据在表 4 中给出，结合脱脂速率的平稳性和工艺效率的要求，设计喂料 2 优选的工艺曲线为峰 1 区间升温速率 0.5℃ /min 升温至 236℃，峰 2 区间 +5℃ /min 升温到 409℃；喂料 3 优选的工艺曲线为峰 1 区间升温速率 0.5℃ /min 升温 264℃，峰 2 区间 +5℃ /min 升温到 396℃。根据上述升温速率对喂料 2 和 3 的注塑片进行热脱脂工艺（表 5），统计其良率分别达到了 83.50% 和 92.55%，注塑片开裂均仅占 2% 左右。

3.5 吸光度测试评价产品光吸收性能

表 6 的测试结果显示陶瓷方片样品吸光度均达标，说明样品在不同波长段光吸收值均满足品质管控预期，样品可以投入下一道工序使用；每间隔 1nm 波长测试吸收值 Abs 具体情况见图 1，图 1 显示样品绝大部分波长段光吸收值 > 4.5，唯有 800~900nm 波长段吸收值需要重点关注。

表 4 不同升温速率对放热区间的影响情况

样品	升温速率 (℃ /min)	峰 1 区间 (℃)			峰 2 区间 (℃)		
		Ti	Tp	Te	Ti	Tp	Te
喂料 2	0.5	215	227	236	331	340	355
	1	220	232	241	342	353	366
	2	235	248	255	360	373	386
	5	249	261	271	381	395	409
喂料 3	0.5	239	252.4	264.5	321.1	332.2	340.8
	1	261.1	273.4	283.6	336.1	349.8	358.5
	2	261.7	280.5	295.3	345	358.9	370.4
	5	300.4	312.3	321.8	372.2	385.5	396.3

表 5 喂料 2 和喂料 3 热脱脂工艺样品外观数据

样品	投入 / 片	良率 / %	开裂 / %
喂料 2	101	83.50	2.02
喂料 3	94	92.55	2.13

表 6 陶瓷方片测试吸光度数据

样品	波长 400nm	波长 600nm	波长 800nm	波长 900nm
	吸收值 Abs > 4.3	吸收值 Abs > 4.4	吸收值 Abs > 4.5	吸收值 Abs > 4.4
1	6.000	6.000	6.000	4.926
2	6.000	6.000	6.000	6.000
3	5.992	6.000	6.000	6.000
4	6.000	6.000	6.000	6.000
5	6.000	6.000	6.000	6.000

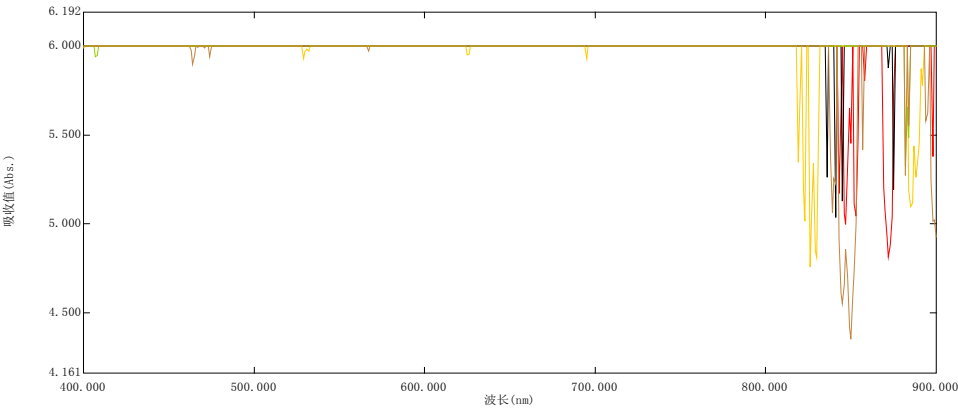


图 1 UV3700 测试陶瓷方片吸光度曲线图

3.6 挤压强度测试评价产品烧结性能

该项测试采用万能材料试验机以均匀的加载速度下压到烧结产品表面,结束条件为产品瞬时力下降到一定程度(图 2),产品表现为碎开 / 裂纹,也可称破坏力测试,管控要求最大破坏力> 67kgf,表 7 的测试结果显示烧结产品挤压强度均达标,烧结产品力学性能优异。

3.7 介电常数测试评价产品介电性能

介电常数是指电介质在电场中贮存经电能的能力,介电常数越大代表材料的绝缘性能越好,量产管控要求产品介电常数测试数据大于 30,喂料 2 和喂料 3 制得的陶瓷产品介电常数测试数据如表 8 所示,由测试结果可知产品绝缘性良好。

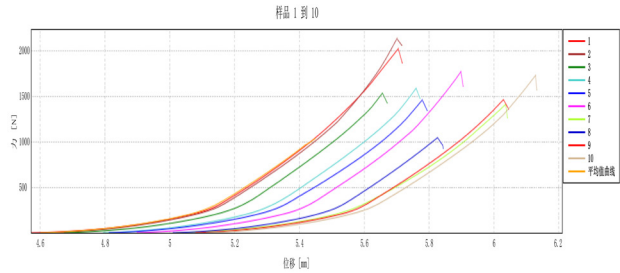


图 2 烧结产品挤压强度测试曲线图

表 7 烧结产品挤压测试数据

样品	测量值 /kgf	测试结果
1	206.364	PASS
2	217.519	PASS
3	156.607	PASS
4	162.046	PASS
5	149.020	PASS
6	180.616	PASS
7	144.039	PASS
8	106.767	PASS
9	149.344	PASS
10	176.500	PASS

表 8 陶瓷产品介电常数测试数据

样品	厚度 /mm	介电常数
喂料 2	1.85	31.4731
	1.85	31.5053
	1.85	31.5371
喂料 3	1.84	31.7753
	1.84	31.7378
	1.84	31.7206

3.8 扫描电镜分析失效烧结产品微观晶胞

产品来源于挤压测试 NG 样品,找到挤压断裂位置,

断裂面粘于样品台正上方制样后放入扫描电镜样品仓，对比找到样品断面的解理纹，沿解理纹所集中位置逐步放大，即可找到断裂源位置所在（图 3），放大该位置可以看到陶瓷晶胞为圆润的（图 4），EDS 测试断裂源处成分是正常陶瓷成分（表 9），无其他异常成分，说明陶瓷该位置内部存在隐藏空隙或者气泡，当陶瓷受外力作用时，空隙位置容易断裂或者形成裂纹。

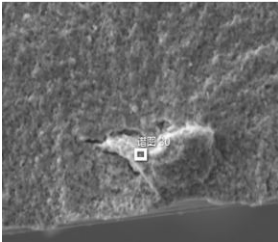


图 3 断裂源 SEM 形貌图

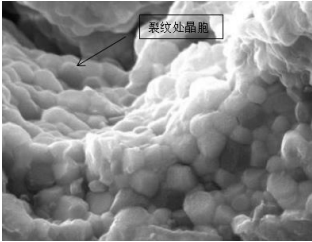


图 4 断裂源 SEM 晶胞图

表 9 断裂处 EDS 成分

元素	Wt%	Wt% Sigma	At%
C	15.32	0.42	30.55
O	34.32	0.33	51.39
Al	7.91	0.10	7.02
Y	1.94	0.22	0.52
Zr	39.58	0.36	10.39
Hf	0.93	0.15	0.12
总量：	100.00		100.00

3.9 形成陶瓷喂料的全面检测评价体系

综上所述，从陶瓷喂料的有机组分材料选择到喂料流动性和注塑工艺温度设置，以及陶瓷产品的性能测试甚至到失效产品的微观结构分析，论文可实现上述提出的总体目标，建立全面的检测评价体系（图 5），对于陶瓷喂料的开发和量产起到重要作用。

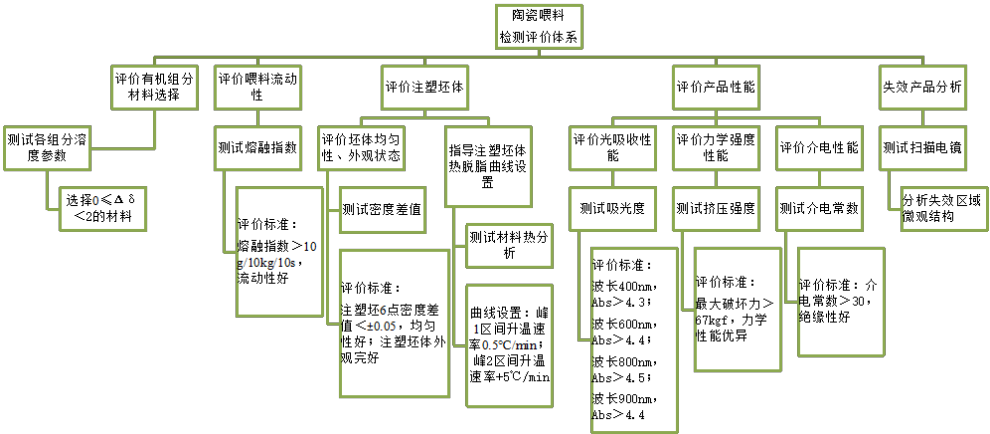


图 5 陶瓷喂料的全面检测评价体系图

4 陶瓷喂料工艺的检测分析系统的先进性分析

- ①全套检测系统包括基础材料测试和成品性能检测，兼具科研院所的学术性和加工型企业的工程性。
- ②国际国内领先的检测设备及完备的设备管理体系为检测可靠性奠定基础；通过检测手段将材料微观层面的性能与产品宏观层面的性能挂钩，在工艺开发阶段充分实现产品性能目标，提升研发到量产的效率。

参考文献

[1] 郭琪,杨勇强.可穿戴智能设备发展浅析[J].经济生活文摘,2013(3):539-540.

[2] 黄蕊.智能可穿戴设备或将爆发式增长[J].投资北京,2014(3):4.

[3] IDC报告2023Q3全球可穿戴设备市场:苹果下降26.7%,小米超过三星增长36%[Z].IT之家,2023-12-05.

[4] 可穿戴设备2023年或迎暖阳,泰晶科技“三支箭”发力市场[Z].时代,2023-04-01.

[5] 智能手表表壳常用材质盘点[Z].搜狐网,2020-11-19.

[6] 张景阳.氧化锆纳米粉:5G手机“背后”的新材料[Z].光明网,2021-08-27.

[7] 张兴英,程珏.高分子化学[M].北京:化学工业出版社,2006.

[8] 马铁成,缪松兰.陶瓷工艺学[M].北京:中国轻工业出版社,2018.

Control of Quality Defects in Continuous Rolling Seamless Steel Pipe Production

Tao Yi

Chengdu Advanced Metal Materials Research Institute Co., Ltd., Chengdu, Sichuan, 610300, China

Abstract

In the production of continuous rolling seamless steel pipe, quality defects are the main factors affecting product performance and service life. The paper explores the technical means of controlling quality defects through the analysis of key links in the production process. Firstly, the selection of raw materials and metallurgical quality have a direct impact on the internal and external defects of steel pipes, and the smelting and pretreatment processes of steel billets need to be strictly controlled. Secondly, uneven temperature and the formation of oxide scale during the heating process can lead to surface and internal defects in the steel pipe, therefore precise control of furnace temperature and atmosphere is required. Reasonable setting of rolling parameters and maintenance of equipment accuracy are crucial in the rolling process. Finally, optimization of cooling and heat treatment can effectively reduce residual stress and uneven microstructure, and improve the quality of steel pipes.

Keywords

continuous rolling seamless steel pipe; quality defects; raw material control

连轧无缝钢管生产时产生的质量缺陷的控制

易涛

成都先进金属材料研究院有限公司, 中国 · 四川 成都 610300

摘要

连轧无缝钢管生产中, 质量缺陷是影响产品性能和使用寿命的主要因素。论文通过对生产过程中各关键环节的分析, 探讨了控制质量缺陷的技术手段。首先, 原材料的选择与冶金质量对钢管的内外部缺陷有直接影响, 需严格控制钢坯的冶炼和预处理工艺。其次, 加热过程中温度的不均匀和氧化皮生成会导致钢管表面和内部缺陷, 因此需精确控制炉温和气氛。轧制环节中, 合理设置轧制参数、维护设备精度至关重要。最后, 冷却与热处理的优化能有效减少残余应力和组织不均匀, 提升钢管质量。

关键词

连轧无缝钢管; 质量缺陷; 原材料控制

1 引言

连轧无缝钢管作为一种应用广泛的工业材料, 其质量直接关系到最终产品的可靠性和寿命。然而, 在生产过程中, 质量缺陷的产生仍然是一个亟待解决的问题。无论是在冶金流程、轧制过程, 还是在后续的冷却与热处理环节, 稍有不慎都会引发不同程度的缺陷。这些缺陷不仅影响钢管的外观质量, 还可能削弱其力学性能, 导致使用过程中产生应力集中、裂纹扩展等问题。因此, 分析这些缺陷的产生原因, 并提出有效的控制措施, 对于提升连轧无缝钢管的整体质量具有重要意义。

2 连轧无缝钢管生产质量缺陷成因分析

2.1 原材料质量对缺陷的影响

连轧无缝钢管的生产过程中, 钢坯表面缺陷如内折、外折、壁厚不均、结疤和扎折等问题也常常困扰生产质量。内折和外折主要由轧制过程中钢坯变形不均引起, 尤其是在加热温度控制不当或轧机压力分布不合理时, 容易导致这些缺陷的产生。内折和外折不仅会影响钢管的外观, 更严重的是, 它们可能成为应力集中的位置, 降低钢管的疲劳强度和抗压能力。壁厚不均则通常源于轧制道次安排不当或设备精度不足, 尤其在轧制工艺中的孔型设计或调整不当时, 钢管各部位受力不同, 导致壁厚分布不均。这会使产品在后期加工中难以满足精密要求还能影响钢管的受力性能。在原材料钢坯表面如存在结疤或其他表面缺陷, 这些缺陷在轧制过程中会被进一步扩大, 形成明显的质量问题。结疤通常是由于钢坯表面氧化皮处理不当或加热过程中温度过高引起的, 需

【作者简介】易涛 (1981-), 中国四川成都人, 本科, 技师, 从事无缝钢管生产工艺及技术研究。

要在加热工序前进行严格检查和清理。扎折是轧制过程中钢坯局部过度压缩或表面受到损伤所导致的表面裂纹或折叠状缺陷。为了有效控制这些质量问题,需对轧机设备的精度进行定期校准,并优化工艺参数设置,保证生产过程中的稳定性^[1]。

2.2 加热过程中的影响

2.2.1 温度分布不均与过热问题

加热过程是连轧无缝钢管生产中的关键环节之一,加热温度的控制直接影响到钢管的组织,如果加热温度分布不均或局部过热,钢坯在轧制过程中可能会产生应力集中或变形不均,导致成品钢管的结构异常,一旦某一部分的加热温度过高,钢坯的局部组织就可能出现过烧现象导致材料的韧性下降,最终导致使用中出现断裂问题,而且温度分布不均则可能造成钢坯不同区域的机械性能不一致影响到成品钢管的质量稳定性。

2.2.2 氧化皮生成及其影响

氧化皮的生成是加热过程中不可避免的现象,如果在加热炉内未能有效控制氧化气氛,钢坯表面会生成较厚的氧化皮,而这些氧化皮在轧制过程中可能会卷入钢管表面,形成“氧化皮夹杂”缺陷会影响钢管的外观,降低其耐腐蚀性。因此,在加热过程中要对炉内气氛进行合理调节,采用保护性气体或优化加热工艺减少氧化皮的生成^[2]。

2.3 轧制过程中的缺陷产生

2.3.1 轧制压力和速度的影响

轧制过程是连轧无缝钢管生产中最重要的一环,轧制压力和速度的设置直接关系到钢管的尺寸精度和内部质量。如果轧制压力设置不当,过大的压力可能会使钢坯发生过度变形导致内部组织被破坏,产生微裂纹甚至断裂。而过小的压力则会导致钢坯的塑性变形不足,无法达到预期的尺寸精度。而且轧制速度过快或过慢也会对钢管质量产生负面影响,过快的速度容易导致钢坯的冷却不均进而产生应力集中;而过慢的速度则可能使钢坯长时间暴露在高温环境下,增加氧化皮生成的概率。

2.3.2 轧机设备的磨损与对中偏差

轧机设备的磨损与对中偏差也是影响钢管质量的重要因素,随着轧机设备的使用时间增加轧辊等关键部件会发生磨损,如果不及时进行维护轧制过程中会出现对中偏差,导致钢管的壁厚不均问题。另外,设备的精度下降还可能导致钢管表面产生压痕。因此,保持轧机设备的良好状态定期进行维护是保证连轧无缝钢管生产质量的关键。

2.4 冷却和热处理过程中的缺陷

2.4.1 不均匀冷却导致的残余应力

冷却和热处理是连轧无缝钢管生产的最后阶段,这两个过程的控制直接影响钢管的机械性能,不均匀冷却容易导致钢管产生残余应力从而在后续使用中出现裂纹或变形问题。尤其是在钢管厚度较大或材料特殊的情况下,冷却速度

的控制显得尤为重要。过快的冷却速度可能会引发内部组织的应力集中,而过慢的冷却则可能导致钢管的表面硬度和韧性降低^[3]。

2.4.2 热处理不当引起的组织不均匀

热处理工艺的不当也会对钢管的组织产生不利影响。如果热处理温度不准确或保温时间不足,钢管的内部结构可能会出现不均匀现象,导致材料性能的波动。这种组织不均匀性不仅影响钢管的强度,还会使其在使用过程中出现脆性断裂或疲劳破坏。因此,在热处理过程中,必须严格控制加热温度和保温时间,确保钢管的内部组织均匀,避免缺陷的产生。

3 质量缺陷的控制与改进措施

3.1 原材料质量控制

3.1.1 钢坯选择与预处理优化

在连轧无缝钢管的生产中原材料质量控制的首要策略是优化钢坯的选择与预处理,选择合适的钢坯是关键,必须严格按照生产要求,保证钢材化学成分均匀避免夹杂物裂纹的存在。为此,可采用真空脱气和精炼等先进技术手段,提升钢水纯净度减少气孔和夹杂物。预处理环节同样重要,表面处理技术的优化是控制质量缺陷的核心。例如,机械抛光和酸洗等方法能够有效去除钢坯表面的氧化皮保证进入轧制工序的钢坯表面光洁度符合标准。这种表面处理优化,有助于减少后续加工中的质量缺陷。

3.1.2 改进冶金流程减少内部缺陷

在减少内部缺陷方面,资金流程的改进是不可或缺的,高强度钢管的生产对合金元素的均匀分布要求极高,因此,合金元素的精确控制成为重点。可利用优化炉料的选择和熔炼工艺,例如可采用更高效的炉内搅拌技术可实现合金元素的充分溶解和均匀分布避免局部成分偏析,能够显著减少钢坯内部的微观缺陷,如缩孔、夹杂物和偏析等问题,保证钢坯具备更高的均匀性从而在后续的轧制中提高钢管的性能。而且优化冶金流程还能提升钢坯的塑性,减少轧制过程中可能出现的裂纹和内部缺陷有助于提高成品钢管的质量。

3.2 加热与温控的优化

3.2.1 精确控制炉温与加热均匀性

为了提升连轧无缝钢管的生产质量,加热过程中的温度控制过程是重中之重。优化策略先集中在加热炉的设计和温度控制系统的升级要引入先进的温度传感器,结合智能控制系统,实时监控加热炉内各区域的温度变化,保证钢坯加热的均匀性。此策略能够避免局部过热或温度不足导致的质量缺陷。而且合理安排钢坯在加热炉内的摆放方式,保证一个钢坯能够获得均匀的加热效果,减少钢坯间的温度差异。加热均匀不仅能提升钢坯的塑性减少轧制过程中的应力集中,还能有效降低后续生产中的变形或裂纹问题,精确的炉温控制和均匀加热将显著提升钢管的内外部质量^[4]。

3.2.2 加强炉内气氛保护减少氧化

减少氧化皮的生成是另一个关键策略，加热过程中钢坯表面容易与空气中的氧发生氧化反应，形成影响钢管质量的氧化皮。为此建议在加热炉中引入保护性气体，通过使用惰性气体如氮气或低氧含量气体，有效抑制钢坯表面的氧化反应。这一气氛保护措施能够显著减少氧化皮的形成，减少轧制过程中氧化皮的夹杂问题。而且针对不同钢材的特性可采用分段控制加热的策略，设定适合不同材质的加热曲线，能有效提高加热的稳定性，最终钢管的表面质量将大幅提升。

3.3 轧制工艺的优化

3.3.1 合理设置轧制参数

轧制参数的优化是提高连轧无缝钢管质量的关键措施，轧制参数的合理设置直接决定了钢坯在轧制过程中能否获得均匀变形，可通过精确计算每种规格钢坯的变形量，结合轧制过程中的温度和轧制压力，可保证材料在轧制过程中充分变形，避免内部缺陷的产生。轧制速度是另一个至关重要的因素，速度过快会导致钢坯内部应力增加，容易产生裂纹或变形，速度过慢则可能导致表面氧化和材料过度变形。因此，针对不同材质和规格的钢坯，需进行科学合理的参数设置，使其在保证产品尺寸精度的同时最大限度地减少表面缺陷。在此过程中，还应结合钢材的变形特性、钢坯的尺寸和使用环境，灵活调整工艺参数，保证钢管表面光滑尺寸均匀，从而大幅提升产品的机械性能与使用寿命。另外，还要注意内直道的问题，内直道问题是影响无缝钢管质量的常见缺陷之一，它指的是钢管内表面出现的纵向沟槽或划痕，通常由轧制过程中的不均匀变形或磨具磨损所致。为了有效减少或避免内直道的产生在优化轧制参数的同时，还要定期检查轧辊和轧模的状态，让设备表面光滑磨损均匀。而且合理控制润滑剂的使用可以降低摩擦，减少内直道的形成。利用严格的质量控制和参数优化能显著提升钢管的表面质量，满足客户对产品高质量高精度的要求。

3.3.2 提升轧机设备精度与维护保养

设备的精度和维护是确保轧制工艺稳定性的基础，轧机设备的精度直接影响钢管的成品质量。轧辊是轧制过程中与钢坯直接接触的关键部件，随着时间的推移轧辊的磨损会导致钢管壁厚不均问题。因此，定期检查和更换磨损的轧辊非常重要，一定要保证设备在高精度状态下运行。除了机械部分的维护外，自动化控制系统的提升也不可忽视。例如，引入高精度的传感器和实时监控系統，能够对设备的运行状态进行持续跟踪，自动识别设备运行中的偏差并进行调整，从而避免因设备故障或对中不良而产生的质量缺陷。最后，

设备的日常保养也能延长设备的使用寿命，这一措施不仅降低生产成本保证了成品钢管的精度与一致性^[5]。

3.4 冷却与热处理改进

3.4.1 优化冷却速度与均匀性

为了避免冷却过程中产生残余应力并导致钢管变形或开裂，需根据钢管的厚度和材质特性采用分段冷却工艺。不同厚度的钢管在冷却时需有不同的冷却速度设置，确保各部分均匀冷却，需要避免温度差异过大造成的应力集中。先进的冷却控制系统可以实时监测钢管的温度状态，准时调整冷却速度保证冷却过程均匀、平稳。利用此种精细化的冷却控制来减少因局部冷却过快或过慢而引发的质量缺陷，进一步提高钢管的结构稳定性。

3.4.2 改进热处理工艺减少应力集中

在热处理工艺的改进中，温度和控制时间的控制至关重要，为确保钢管内部组织的均匀性必须精确调控加热温度与保温时间。可利用引入先进的温度控制系统来精确控制热处理的每个环节，保证钢管在淬火回火等过程中获得均匀的组织结构，避免因局部温度波动产生的不均匀现象。针对不同材质的钢管应设计不同的热处理工艺，优化加热与冷却曲线，来减少内部应力的生成，使钢管能够在严苛条件下保持较高的使用寿命。

4 结语

在连轧无缝钢管的生产过程中，质量缺陷的控制是提高产品性能和使用寿命的关键。本研究通过对原材料质量、加热过程、轧制工艺、冷却与热处理等环节的分析，提出了一系列优化措施。控制质量缺陷的核心在于精确调控各个工艺环节，采用先进的技术手段提升生产过程的精度与稳定性。例如，严格选择钢坯、优化加热温度与轧制参数、引入保护性气氛控制氧化皮生成等。通过这些技术手段的应用，能够有效减少缺陷，显著提升无缝钢管的整体质量与可靠性，满足市场对高性能材料的需求。

参考文献

- [1] 杨璐. 不锈钢管焊接质量控制浅析[J]. 上海质量, 2024(5): 70-72.
- [2] 李世杰. 无缝钢管质量检测中超声波检测技术的应用研究[J]. 仪器仪表用户, 2022, 29(7): 5-7+54.
- [3] 朱锦铭. 对热轧无缝钢管生产时产生细微质量缺陷的控制[J]. 中国金属通报, 2018(7): 87-88.
- [4] 张金华. 连铸坯表面缺陷对连轧钢管表面质量的影响[J]. 南方农机, 2017, 48(21): 93+96.
- [5] 冯庆, 于辉, 刘波, 等. 连铸坯表面缺陷对连轧钢管表面质量的影响[J]. 理化检验(物理分册), 2015, 51(10): 679-683.

Effect of Welding Parameter Optimization on Formation Mechanism of Weld Defects

Guangjian Zhang

Cnooc Security Technology Service Co., Ltd., Tianjin, 300000, China

Abstract

Welding, as a common metal connection technology, plays an important role in industrial production. In order to solve the weld defects generated in the welding process and reduce the impact on product performance, this study focuses on the influence of welding parameter optimization on the formation mechanism of weld defects. By combining experiment and theory, the influence of different welding parameters on weld forming and defect generation was studied systematically. The results show that the welding speed, current and voltage are the main factors affecting the weld surface quality and internal defects. By optimizing welding parameters, welding defects such as cracks, pores and inclusions can be effectively reduced. In addition, this study also established a set of welding parameter optimization model, which provides theoretical basis and technical guidance for reducing welding defects in actual production. This helps to improve welding quality and ensure the safety and reliability of manufactured products.

Keywords

welding parameter optimization; weld defects; formation mechanism; welding quality; combine experiment with theory

焊接参数优化对焊缝缺陷形成机制的影响

张广建

中海油安全技术服务有限公司，中国·天津 300000

摘 要

焊接作为一种常用的金属连接技术，在工业生产中扮演着重要角色。为了解决焊接过程中产生的焊缝缺陷，降低对产品性能的影响，本研究围绕焊接参数优化对焊缝缺陷形成机制的影响展开。采用实验与理论相结合的方法，系统研究了不同焊接参数对焊缝成型和缺陷生成的影响规律。结果表明，焊接速度、电流和电压是影响焊缝表面质量和内部缺陷的主要因素。通过优化焊接参数，可以有效减少焊接裂纹、气孔和夹杂等缺陷的产生。此外，本研究还建立了一套焊接参数优化模型，为实际生产中减少焊接缺陷提供了理论依据和技术指导。这有助于提升焊接质量，确保制造产品的安全性和可靠性。

关键词

焊接参数优化；焊缝缺陷；形成机制；焊接质量；实验与理论相结合

1 引言

焊接技术作为现代工业生产中不可或缺的环节，它的优化和改进对于提高产品质量和生产效率有着极其重要的意义。其中，焊接过程中的焊缝缺陷问题一直是工程师和科研人员共同关注的焦点。事实上，焊接过程中的变数较多，如焊接电流，电压，速度等因素都会影响到焊缝的形成，进一步影响焊接的质量和性能。如果不能有效管理和控制这些参数，焊接过程中很可能会产生诸如裂纹、气孔和夹杂等缺陷，这将直接影响制造产品的安全性和可靠性。为了解决这一问题，我们需要深入理解焊接参数对焊缝缺陷形成机制的影响，进而找到最适宜的焊接参数配置。因此，本研究的目的是探讨并优化焊接参数，从而有效减少焊缝缺陷的发

生，提升焊接质量，确保工业产品的安全性和可靠性。

2 焊接技术及其焊缝缺陷问题概述

2.1 焊接技术在工业生产中的应用

在现代工业生产中，焊接技术作为一种高效且常用的金属连接手段，广泛应用于各个领域^[1]。这些领域包括但不限于汽车制造、航空航天、造船、石油化工、机械制造以及建筑工程。焊接技术不仅在這些行业中扮演着关键角色，还在推动这些行业向高强度、高可靠性和高效率的发展方向上发挥了无可替代的作用。

在汽车制造行业，焊接技术被广泛应用于车身制造、底盘组装和整车焊接等工序。高效的焊接方法可以提高生产速度，保证连接的可靠性，从而提升车辆的整体质量和安全性能。特别是激光焊接和电阻点焊技术的应用，使得汽车制造实现了更加精确和高速地装配。

航空航天工业对材料的质量和连接的可靠性有着极高

【作者简介】张广建（1988-），男，中国天津人，本科，工程师，从事大型吊装作业中的多机协同控制技术研究。

的要求,焊接技术在飞机机身、火箭发动机和卫星部件等关键组件的制造中,得到了广泛应用。通过先进的焊接技术,如钨极氩弧焊和电子束焊接,不仅可以实现高质量的连接,还能最大限度地减少材料的应力集中和缺陷,从而确保航空航天器能在极端条件下安全运行。

在造船工业中,由于船舶结构的复杂性和海洋环境的特殊性,焊接技术的重要性不言而喻。大到船体的主结构,小到内部的管道连接,焊接工艺都无处不在。采用高效的焊接方法,如埋弧焊和气保焊,可以快速完成巨型船舶的建造,确保其具备优良的机械性能和耐腐蚀性能,能够长时间在海洋环境中服役。

石油化工行业的管道和储罐、机械制造行业的重型设备和精密仪器,以及建筑工程中的钢结构和预制构件,这些都离不开焊接技术的支持。高温高压环境下,对焊接接头的质量和强度提出了极高的要求,焊接技术不仅要保证接头的强度和致密性,还需满足耐腐蚀、抗疲劳等性能指标,通过工艺优化,实现安全、高效的生产。

焊接技术在现代工业生产中的应用,不仅提高了生产效率和产品质量,还推动了各行业的技术进步和创新^[2]。随着新材料、新工艺的不断发展,焊接技术的应用范围将不断扩大,其在工业生产中的作用也将日益重要。

2.2 焊接过程中的焊缝缺陷形式和影响

焊接过程中的焊缝缺陷形式和影响是焊接技术研究中的关键课题。焊缝缺陷主要包括焊接裂纹、气孔、夹杂物、不完全熔合和焊接变形等。这些缺陷不仅影响焊缝的外观质量,更重要的是对焊缝的机械性能和使用寿命产生显著影响。

焊接裂纹是一种常见且危害较大的焊缝缺陷,主要有热裂纹、冷裂纹和再热裂纹。热裂纹通常在焊缝迅速冷却的过程中形成,容易沿着晶界扩展,导致焊缝的断裂。冷裂纹在焊缝冷却到较低温度时产生,通常与焊缝区域产生的残余应力有关。再热裂纹则是由于焊缝在后续热处理过程中的加热引起,影响焊缝的持久强度。

气孔是在焊接过程中气体未能完全溢出而在焊缝中形成的小孔洞。这种缺陷会降低焊缝的致密性和强度,特别是在压力容器和管道的焊接中,气孔将极大地影响其密封性和承压能力。夹杂物是指在焊接过程中非金属杂质未能有效排出而残留在焊缝中的情况。这些夹杂物会成为焊缝内的弱点,降低焊接接头的韧性和抗腐蚀性能^[3]。

不完全熔合是指母材与填充金属之间未能充分融合,产生的缝隙或薄弱界面。这种缺陷常导致焊缝承载能力不足,在外力作用下易于产生裂纹或断裂。焊接变形主要是由于焊接热环境引发的热应力导致工件形状发生变化,使得工件出现弯曲、扭曲或拉长等。这不仅影响工件的尺寸精度和安装性,还会引发严重的结构性问题。

各种焊缝缺陷通过不同的方式降低了焊接接头的综合

性能,给焊接质量控制带来了巨大的挑战^[4]。深入研究焊接过程中的焊缝缺陷形式及其影响,对于提高焊接质量和工业产品的可靠性具有重要意义。

2.3 焊接参数与焊缝缺陷产生的关联性

焊接参数在焊接过程中起着至关重要的作用,其变化将直接影响焊缝的成形和缺陷的生成。焊接速度、电流和电压是焊接参数中的关键因素。焊接速度过高可能导致焊缝熔深不足和焊接裂纹的形成,过低则可能导致焊接金属过热,产生金属流动性降低的问题。焊接电流的大小决定了焊缝的熔化深度,电流过大会增加焊接熔池的体积,易产生焊缝变形和气孔,而电流过小则会导致熔化不足。电压的稳定性在确保电弧的稳定性方面至关重要,电压不稳定会引发焊道不均匀和夹渣的产生。通过合理调整焊接参数,可以提高焊缝的成形质量,减少内部缺陷,从而提升焊接结构的整体性能。

3 焊接参数对焊缝成形和缺陷生成的影响研究

3.1 实验方法与实验设备介绍

为了系统地研究不同焊接参数对焊缝成型和缺陷生成的影响,设计了一系列实验,并采用先进的实验设备对焊接参数进行精确控制与测量。实验材料选用常见的低碳钢,其化学成分和机械性能已通过标准试验验证,具备代表性和广泛适用性。

实验设备采用一台高精度的 MIG/MAG 焊机,该焊机具有稳定的电弧控制能力和宽泛的参数调节范围。焊接参数包括焊接电流、焊接电压和焊接速度,分别通过焊机的控制面板进行设定和监控,以保证实验过程中参数的稳定性与可重复性。焊接电流的设定范围为 100A 至 300A,焊接电压的设定范围为 15~30V,焊接速度在 50~300mm/min 之间。

实验方法按照设计的焊接参数组合进行焊接试验。为了确保参数组合的多样性和覆盖性,实验设计参考了正交实验法,具体分为高、中、低三档参数组合。每组实验均进行三次重复,以确保数据的可靠性和可重复性。焊接过程中实时监测电弧稳定性和焊缝成型情况,并记录焊接过程中的电流、电压波形。

焊接试样制作完成后,通过一系列无损检测和破坏性检测的方法对焊缝质量进行分析^[5]。无损检测采用超声波检测和 X 射线检测,主要检测焊缝内部的气孔、裂纹和夹杂物等缺陷的分布和类型。破坏性检测则采用金相显微镜和扫描电子显微镜 (SEM) 对焊缝的微观结构进行详细观察,主要分析焊缝的晶粒尺寸和组织特征。

为深入分析焊接缺陷的形成机理,采用热模拟试验进一步研究不同焊接参数对金属熔池凝固过程的影响。热模拟试验采用 Gleeble 热机械模拟实验机,模拟实际焊接过程中热循环曲线,通过测定焊接热影响区的温度场和应力场分布,研究焊接参数对焊缝组织和缺陷形成的热力学影响。

以上实验方法和设备的综合运用,为研究不同焊接参

数对焊缝成型和缺陷生成的影响提供了坚实的数据基础和科学依据。这种系统性和多维度的研究方法,有助于掌握焊接参数优化的规律,为工业生产中的焊接质量控制提供宝贵的参考依据。

3.2 焊接速度电流和电压对焊缝质量和内部缺陷产生的影响

焊接速度、电流和电压是焊接过程中影响焊缝质量和内部缺陷生成的三个关键参数。焊接速度直接影响焊缝的热输入量,过低的焊接速度会导致焊缝过热,易产生过烧和变形,而过高的焊接速度则可能会导致焊缝熔深不足,不完全融合且易形成未焊透缺陷。相较而言,适中的焊接速度有利于焊缝金属的充分熔融和凝固,得到较为均匀的焊缝结构。

电流作为焊接过程中的主要热源参数,对焊缝成型起着决定性作用。较大的焊接电流有助于加深焊缝的熔深,但过大的电流易引起焊缝金属过热,形成粗大的晶粒结构,进而降低焊接接头的力学性能。过大的电流也会增加焊接过程中的熔滴飞溅,导致焊缝表面质量下降。反之,较小的电流可能会导致焊缝融合不良,容易产生夹渣和未熔合缺陷。在实际操作中需要合理选择电流,使焊缝成型稳定,熔深适中。

电压主要影响电弧的大小与稳定性,进而影响焊缝的成型质量。适当的焊接电压能够保持电弧稳定,避免出现电弧漂移现象,从而获得表面平整、宽窄适中的焊缝。过高的焊接电压会导致电弧过于分散,降低焊缝的能量密度,容易出现焊缝边缘过熔现象。不稳定的电压还可能引起焊接过程中电弧摆动,增加焊缝成型不规则的风险。而过低的电压则会导致电弧短粗,焊缝金属的流动性差,形成飞溅和凹坑等缺陷。

优化焊接速度、电流和电压这三个主要参数,对于减小焊缝缺陷、提高焊接质量具有重要意义。通过实验研究与理论分析发现,不同参数对焊缝缺陷的生成机理有显著影响,合理的参数组合能够显著减少焊接裂纹、气孔和夹杂等常见缺陷的产生,有效提升焊接质量与可靠性。

3.3 焊接参数优化减少焊缝缺陷的实验结果分析

实验结果显示,通过精细调整焊接速度、电流和电压这三个关键参数,可以显著减少焊缝缺陷的产生。实验中发

现,当焊接速度在合理范围内进行微调时,能够有效地控制焊缝的成型质量,避免出现裂纹和气孔现象。电流的优化主要表现在防止过高电流导致的过热现象,从而减少焊缝中的微裂纹和熔池金属的氧化问题。电压的适当调整也能够显著减少内部夹杂物的数量,提高焊缝的均匀性和致密性。具体数据显示,经过优化后的焊接参数,在不同材料和厚度的焊接试验中,其缺陷发生率均较未优化前降低了约30%~50%。实验结果验证了焊接参数优化模型的有效性,为工业生产提供了一种可行的焊接缺陷控制方法。

4 结语

论文通过深入探讨焊接参数优化对焊缝缺陷形成机制的影响,得出了焊接速度、电流、电压等参数是决定焊缝质量和内部缺陷的主要因素,通过优化这些参数,可以明显降低焊接裂纹、气孔和夹杂等焊缝缺陷的风险。这为焊接工艺的改进和产品质量的提升提供了重要的理论依据和具体操作方案。同时,论文还构建了一个焊接参数优化模型,为实际生产中解决焊接缺陷问题提供了重要的工具和技术支持。该模型在实践中的应用可以有效提升焊接质量,进一步确保制造产品的安全性和可靠性。未来的研究可以对本研究模型进行进一步的优化和完善,同时在更多的实际生产环境中验证其有效性和可靠性。同时,应重视焊接过程中新情况、新问题的发现与处理,以便对焊接技术进行持续改进,提高产品的质量和性能。

参考文献

- [1] 仪登亮,冯强,李真伟.浅析焊接工艺参数对焊接缺陷影响[J].市场调查信息:综合版,2019(12):245.
- [2] 钟军.焊接工艺参数优化对焊缝收缩量影响研究[J].焊接技术,2023(9).
- [3] 王小龙,程航涛.某船角焊缝焊接缺陷分析[J].广船科技,2022,42(3):70-71.
- [4] 蒋金玲,张恩华,李硕,等.激光焊接参数对焊接质量影响的实验研究[J].应用激光,2020(5):867-872.
- [5] 李志强.不同焊接工艺参数对焊缝组织的影响[J].焊接技术,2019(12):20-23.

Progress of Friction Reduction and Wear Resistance of Textured Surface

Jianwen Li

BYD Auto Industry Company Limited, Shenzhen, Guangdong, 518122, China

Abstract

Reducing the power consumption losses in friction pairs is crucial for energy-efficient power equipment. The design and manufacturing capabilities of high-efficiency friction pairs are key factors in determining their performance under extreme conditions. Surface texturing has been proven effective in reducing resistance, improving sealing, and enhancing wear resistance in friction pair components, making it a valuable technical means for increasing equipment's added value and extending its service life. This paper introduces the concept and classification principles of surface texturing, outlines key research progress and technological innovations in the field, provides texture design guidelines for various application scenarios, and reveals the friction reduction and wear resistance mechanisms of textured friction pair surfaces. It offers valuable fundamental theories for evaluating the performance of friction pairs in service and opens up new research perspectives for improving the efficiency of power equipment.

Keywords

surface texture; friction and wear; lubrication; bionic structure

结构化表面减摩抗磨的研究进展

黎健文

比亚迪汽车工业有限公司, 中国 · 广东 深圳 518122

摘要

减小摩擦副的功耗损失对节能型动力装备具有重要意义, 高效摩擦副的设计与制造水平是决定其在极端工况下服役性能的关键。表面织构已被证实可实现摩擦副零部件的减阻、密封、抗磨等功能, 是提高装备附加价值和延长设备寿命的有效技术手段。论文通过介绍表面织构的概念和原理分类, 概述该领域的关键研究进展和新技术创新, 提供不同使用场景的织构设计准则, 揭示结构化摩擦副表面的减摩抗磨机理, 为摩擦副服役性能评估提供有价值的基础理论, 开拓动力装备效率提升的研究新思路。

关键词

表面织构; 摩擦磨损; 润滑; 仿生结构

1 引言

随着科技的不断发展, 汽车、航空航天、能源电力等领域对设备性能的要求越来越高, 导致摩擦磨损带来的能量损失和器件失效问题愈发显著。在机械设备运转中, 约 1/3 的一次性能源被用于克服各类摩擦, 造成巨大的能耗浪费。因此降低摩擦能耗是发展绿色新质生产力的必要条件。以表面织构为代表的新型摩擦副表面是应对未来高效能设备挑战的技术路线之一。对表面织构开展深入研究具有重要意义, 该类表面通过对油膜和磨屑的控制实现摩擦配合副的非直接接触, 可改善摩擦界面易形成边界润滑或者干摩擦等不足。论文综述了表面织构的概念与作用机理及其在典型摩擦副零件中的实际应用。

【作者简介】黎健文 (1982-), 男, 中国广东江门人, 本科, 工程师, 从事热能与动力工程研究。

2 表面织构的概念

传统的摩擦学领域认为光滑表面具有更小的摩擦系数, 从而具有比粗糙表面更优的摩擦学性能。然而, 近年来的研究表明, 在材料表面设计加工特定规律的结构能够改善摩擦副的界面磨损和润滑行为。特别地, 研究人员对于这类结构的设计灵感大多来自大自然, 即开发基于仿生学的结构, 如鲨鱼表面肋条结构和树蛙的脚底。鲨鱼皮表面的肋条结构能为其在水中提供较低的运动阻力, 使微生物难以附着在其表面, 因此在材料表面设计类鲨鱼皮肋条结构能够实现减阻和防污功能。树蛙脚底具有多边形微细结构, 能使其分泌的黏液在足底传递, 从而增强其与植物或者墙壁的附着力。在研究初期阶段, 这种特定功能的微细特征结构被称为微小不规则体。在后续技术发展过程中, 学术界逐渐将这种材料表面具有一定形状、尺寸和分布规律的表面特征结构称为表面织构, 典型的为凹坑点阵和沟槽阵列等, 如图 1 所示^[1,2]。

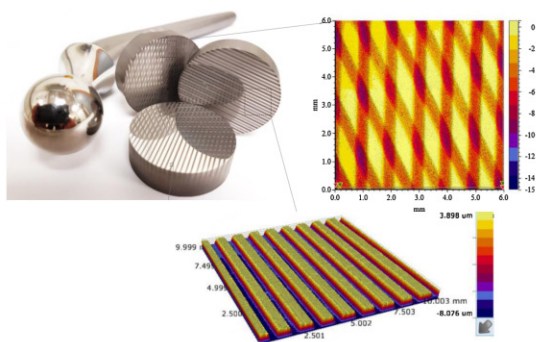
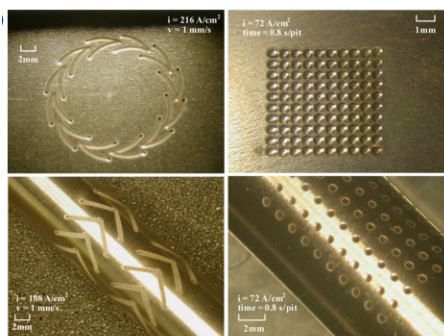
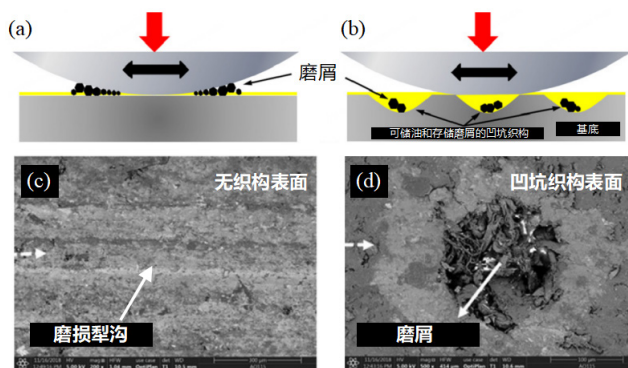


图 1 多样化的表面织构

3 表面织构的减摩抗磨原理

如图 2 所示, 表面织构减摩润滑的原理主要在于^[3,4]:

①空腔位置区域可以在线捕获由于磨损产生的磨屑, 从而减少刮伤和磨粒磨损。②织构内部可以实现储油功能, 在油膜被破坏时能充当二次油源, 有利于连续油膜的保持与形成, 从而避免摩擦副间的边界润滑状态转变成干摩擦。③在油润滑工况下, 有利于织构内液体润滑剂的微循环, 产生局部流体动压效果, 形成具有一定刚度的油膜, 提高摩擦界面的油膜承载力, 同时也能延长油膜寿命。形成的全流体密封带能避免配合副的固-固接触, 相同条件下具有比直接接触的配合副更低的摩擦力矩, 从而减小界面磨损。此外, 与平坦无织构表面相比, 织构化表面能减小与对磨配合副的接触面积, 减小了界面的相互作用, 降低接触面间的粘附力, 从而提高表面耐久度。同时, 微织构的存在允许更多空气进入摩擦副界面, 从而增强工件与空气间的热传导效应, 有利于摩擦副之间由于持续滑动而产生的摩擦热的散热。



(a-b) 织构对摩擦副界面的影响

(c-d) 织构实现储存磨屑的扫描电子显微图像

图 2 表面织构改善摩擦性能机理示意图

4 表面织构的几何学设计

织构的形状会对油膜的状态, 如油膜的连续性、油膜厚度和油膜局部承载力等造成影响, 从而影响配合副界面的摩擦性能。圆形凹坑由于具有加工相对简易的特点, 被广泛应用于各类织构化表面。然而, 从性能提升的角度分析,

圆形凹坑有时并不能满足工程需求。为此, 学术界对异形的凹坑织构也展开了研究。例如在工件表面加工出长轴垂直于滑动方向的椭圆形凹坑, 其具有比圆形凹坑更强的流体动压力, 但椭圆凹坑的长轴和短轴的尺寸比例过大时则会造成更大的接触应力, 导致油膜完整性被破坏, 形成更多磨屑。Zhang 等^[5]提出遗传算法来模拟生物进化过程, 用以优化织构形状, 相比圆形凹坑, 具有较大周长的子弹头和鱼形凹坑具有较优的油膜承载力和摩擦系数, 但不利于接触应力的均匀分布, 因此不适用于往复摩擦。需要指出的是, 不恰当的表面织构设计会对使用性能造成不利影响。例如, 凹坑的深度过大时会降低基底的承载能力, 使其更易失效; 凹坑的密度过大时会破坏基底材料的连续性, 导致耐磨性降低。此外, 开发不同形状凹坑组合的复合织构阵列也是提升摩擦学性能的途径, 利用优选的形状可以实现复合收敛楔的作用, 能够最大限度发挥流体动压效应。

微沟槽及其阵列也是常见的织构类型。黄仲等^[6]在 40Cr 材料表面上加工出类蚯蚓体表结构的沟槽阵列织构, 仿真结果表明特定范围内的织构宽度和深度能够在织构内产生明显的流体动压效应, 从而形成更大的油膜承载力, 而当织构深度和宽度过大时, 由于流体流动距离增加, 会弱化流体动压效应。进一步对沟槽阵列织构进行摩擦磨损试验, 在最优织构参数条件下其摩擦系数约为无织构时的 57%。Wang 等^[7]研究了不同取向的直线沟槽阵列织构对微动磨损的影响, 结果表明, 相比于平行和 45° 夹角, 垂直于摩擦方向的沟槽织构可以避免磨屑从界面接触区域溢出。需要指出的是, 相比于凹坑织构, 沟槽织构中由于润滑油更易在内部流动, 从而影响摩擦配合副在接近织构特征时累积的流体压力, 此类现象在沟槽方向与滑动摩擦方向一致时更明显, 因此通常与滑动摩擦方向一致的沟槽织构其摩擦性能的提升不明显。

5 表面织构的应用实例

目前表面织构多用于高接触应力和高转速的摩擦副中, 特别是易面临乏油情况的配合副, 如轴承。谢自奇等^[8]在滚动轴承内圈的沟道中心两侧制备了梳齿状织构阵列, 利用织构储存油液的积极作用, 改善了润滑油在工作过程中的侧

泄,提升了轴承表面接触时的润滑性能,降低了系统启动时轴承表面的摩擦力矩,例如在转速 2856 r/min、80N 载荷的工况下,结构化表面的摩擦力矩比无结构表面降低约 50%。同时,结构表面的润滑油液能够降低接触界面由于摩擦热导致的轴承温升,最优时实现了 9% 温度降低率,有利于提高其服役寿命。此外,以斜盘式柱塞泵中的配流副/缸体摩擦副为代表的液压元件也是典型的表面结构化应用案例,能解决其摩擦大、响应慢和服役寿命短等问题。特别地,在配流盘表面构建微细结构,能够提升低压吸油区油膜的承载能力,形成补偿高压区的偏载力矩,减小高压区的压紧力矩,从而平衡整体受力。Zhang 等^[9]将微结构引入电动静液压执行器中的轴向柱塞泵中的配流盘,如图 3 所示,结构具有减磨作用,并且结构所产生的水动压效应可以减小缸体的倾斜角度,这种协同效应提高了能量利用率,在 10000r/min 最大转速和 28MPa 最大出口压力条件下,结构化配流盘/缸体摩擦副的机械效率和容积效率分别提高了 2.6% 和 1.4%,减少了轴向柱塞泵的能耗损失。同时,表面结构还能改善润滑介质的输送转运能力,将其应用于采油液力马达等液力驱动装置时能有效降低启动时的摩擦阻力矩。

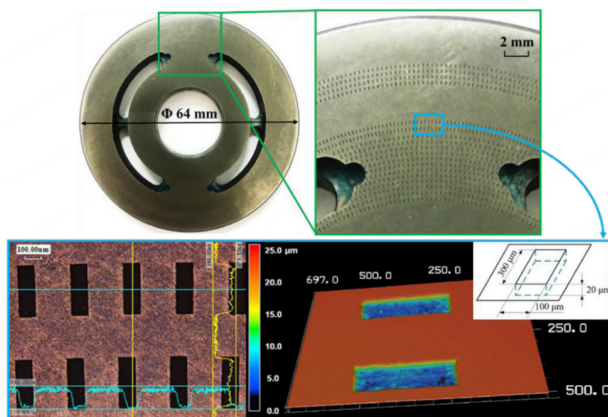


图 3 应用于轴向柱塞泵中的结构化配流盘及其微观结构

6 结语

表面结构的形式多样、多原理协同效应显著,在摩擦传动、润滑、密封等具有高品质、高性能要求的动力装备领

域中得到了愈发广泛的应用。因此,深入研究结构化表面在高转速、高载荷等工况下的极端性能、开发基于摩擦副结构化表面的机械系统、推进结构化表面设计与制造的产业化应用,将是未来该领域科学和工程主导的发展方向。未来,表面结构化将进一步优化数学建模、结构模型仿真等以理论设计为主导、减少试错成本的加工方法。同时,为了低成本地实现更高精度结构的设计与制造,如纳米尺寸的结构单元,需要在明确摩擦过程中界面机理的基础上建立更精准的摩擦磨损结果预测仿真模型。

参考文献

- [1] Natsu W, Ikeda T, Kunieda M. Generating complicated surface with electrolyte jet machining[J]. Precision Engineering, 2007, 31: 33-39.
- [2] Melentiev R, Fang F. Fabrication of micro-channels on Co-Cr-Mo joints by micro-abrasive jet direct writing[J]. Journal of Manufacturing Processes, 2020, 56: 667-677.
- [3] Amanov A, Sasaki S. A study on the tribological characteristics of duplex-treated Ti-6Al-4V alloy under oil-lubricated sliding conditions[J]. Tribology International, 2013, 64: 155-163.
- [4] Li S, Zhang N, Yang Z, et al. Tailoring friction interface with surface texture for high-performance ultrasonic motor friction materials[J]. Tribology International, 2019, 136: 412-420.
- [5] Zhang H, Hua M, Dong G, et al. Optimization of texture shape based on genetic algorithm under unidirectional sliding[J]. Tribology International, 2017, 115: 222-232.
- [6] 黄仲,林秉敬,李孝钦.高副接触下沟槽形结构对40Cr表面摩擦性能的影响[J].机床与液压,2023,51:132-138.
- [7] Wang J, Xue W, Gao S, et al. Effect of groove surface texture on the fretting wear of Ti-6Al-4V alloy[J]. Wear, 2021, 486-487: 204079.
- [8] 谢自奇,刘成龙,郭峰,等.激光诱导梳齿沟槽阵列表面的润滑增效[J].轴承,2024(5):92-99.
- [9] Zhang J, Chen Y, Xu B, et al. Effect of surface texture on wear reduction of the tilting cylinder and the valve plate for a high-speed electro-hydrostatic actuator pump[J]. Wear, 2018, 414-415: 68-78.

Application Analysis of Material Inspection and Testing Technology in Construction Engineering

Zixuan Chu

Zhongyi Construction Technology Group Co., Ltd., Shijiazhuang, Hebei, 050000, China

Abstract

Driven by the wave of economic globalization, the construction industry is booming and the project scale continues to expand, driving the rapid growth of market demand for building materials. In this context, the scientific selection and strict quality control of building materials have become the prerequisite for ensuring the safety and functional realization of building engineering structures. The in-depth application of construction materials inspection and testing technology is not only the scientific basis for evaluating material properties, but also the core means to ensure construction quality and prevent potential safety problems. This paper systematically expounds the implementation strategy of the inspection and testing technology of building engineering materials, in order to provide scientific guidance and reference for engineering practice.

Keywords

construction engineering; engineering materials; material inspection; detection technique

建筑工程材料检验检测技术的应用探析

楚子轩

中绎建设科技集团有限公司, 中国·河北 石家庄 050000

摘 要

在经济全球化的浪潮推动下, 建筑行业蓬勃发展, 项目规模持续扩张, 驱动着建筑材料市场需求的快速增长。在此背景下, 对建筑材料进行科学选择与严格质量把控, 成为确保建筑工程结构安全与功能实现的先决条件。建筑工程材料检验检测技术的深入应用, 不仅是评估材料性能的科学依据, 也是保障施工质量、预防潜在安全问题的核心手段。论文系统阐述了建筑工程材料检验检测技术的实施策略, 以期为工程实践提供科学的指导与参考。

关键词

建筑工程; 工程材料; 材料检验; 检测技术

1 引言

在建筑工程领域, 材料检验检测作为质量控制体系的重要一环, 其技术应用的精准度与有效性, 直接关系到工程质量的最终评定。该技术通过先进的分析测试方法, 准确评估材料的物理、化学及力学性能, 为施工决策提供坚实的数据基础。然而, 当前技术应用实践中面临的挑战, 诸如技术迭代缓慢、检测标准不统一等问题, 影响了其效能的最大化发挥。因此, 深入探索建筑工程材料检验检测技术的最新发展趋势与应用策略, 对于推动行业技术进步、提升工程质量具有深远意义^[1]。

2 建筑工程材料检验检测技术的应用意义

2.1 有利于优化选择工程材料

建筑工程材料检验检测技术的实施, 构筑了材料选择

的坚实科学基础。该技术体系通过一系列严谨且系统的试验与检测手段, 对各类建筑原材料进行全面而客观的性能与质量评估, 确保所选材料在成本效益上达到最优化。特别是在砂石等基础建材的评估环节, 该技术实现了现场材料质量的即时监控与反馈, 促进了就地取材策略的有效实施, 显著降低了材料运输成本。此外, 在土场选择过程中, 通过精确测定天然含水量并调整至最佳含水率区间, 实现了施工用水量的精细化管理, 进一步提升了施工成本的控制效能。

2.2 有利于提高材料配合应用水平

鉴于建筑工程对材料多样性的高度需求, 材料检验检测技术成为提升材料组合应用效能的核心驱动力。该技术要求检测人员深入剖析每种材料的物理、化学特性及其在施工中的具体作用, 依据标准化的试验测量流程, 编制详尽的试验报告。这些报告以数据为基础, 直观展示了材料的各项性能指标, 为施工单位在制定材料使用策略时提供了坚实的依据。通过深入分析试验报告, 施工单位能够灵活调整材料配比方案, 优化材料使用策略, 从而全面提升施工质量的整体水平。

【作者简介】楚子轩(1998-), 男, 中国河北保定人, 本科, 助理工程师, 从事工程检测研究。

3 建筑工程材料检测的关键点

3.1 检测混凝土质量

在建筑工程的构造体系中，混凝土作为基础材料，其质量优劣直接关系到建筑结构的稳固性及长期使用效果。对于混凝土质量的全面评估，核心聚焦于其物理力学性能与耐久性的双重考量。具体而言，抗压强度、坍落度表现以及抗氯离子渗透能力成为衡量混凝土质量的关键参数^[2]。

第一，混凝土抗压强度。在特定的养护条件下（即温度控制在 $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ 范围内，相对湿度维持在95%以上），制备标准化的立方体试件（边长为150mm），并历经28天的标准养护周期。随后，采用专业的压力机进行加载测试，直至试件发生破坏，精确记录破坏瞬间的最大承载力，并据此计算得出混凝土的抗压强度值。这一过程不仅验证了混凝土的内部结构强度，也为建筑结构的承重能力提供了可靠依据。

第二，混凝土的坍落度。通过精准测量坍落度筒提起后混凝土自然坍落的垂直高度，并与预设的合格范围（如 $180\text{mm} \pm 20\text{mm}$ ）进行对比分析，评估其在实际施工中的适用性。适宜的坍落度能够有效保障泵送、浇筑等施工工艺的顺利进行，从而提升施工效率与结构质量。

第三，混凝土的抗氯离子渗透性能进行测试，是评估其长期耐久性的重要手段。采用先进的快速氯离子迁移系数法，构建模拟氯离子侵蚀环境的电解池系统，通过实时监测电流与温度的变化情况，准确评估混凝土抵抗氯离子渗透的能力。这一检测环节对于位于沿海区域或面临化学腐蚀风险的建筑物而言尤为重要，是确保建筑物长期安全服役、延长使用寿命的关键所在。

3.2 检测砂石质量

砂石作为混凝土的重要组成部分，其质量状况直接关系到混凝土的力学性能与耐久性表现。因此，对砂石质量进行全面、细致的检测显得尤为重要。砂石质量检测主要涉及颗粒级配、含泥量、表观密度以及吸水率等关键参数的测定。

第一，颗粒级配。利用一系列孔径不同的筛网对砂石样品进行逐级筛分，详细记录并计算各粒径段砂石的重量百分比，从而得出其颗粒分布特性。这一过程对于优化混凝土配合比设计、提升混凝土整体性能具有重要指导意义。

第二，含泥量。将砂石样品置于清水中充分浸泡，利用水的浸泡与冲刷作用将砂石中的泥土及其他细粒杂质有效分离。随后，借助套筛进行过滤与称重处理，精确计算出砂石样品的含泥量。低含泥量的砂石能够显著减少混凝土中的有害成分含量，从而提升混凝土的强度与耐久性^[3]。

第三，碎石的表观密度与吸水率。将碎石样品完全浸没于水中并排除气泡干扰后测定其水中质量；随后取出样品并擦除表面水分测定烘干质量；最后将样品烘干至恒重并测定烘干质量。通过这一系列操作可准确计算出碎石的表观密度与吸水率等关键参数。这些参数不仅反映了碎石的物理

特性还对混凝土的密度、强度及干燥收缩等性能产生深远影响。

3.3 检测钢筋质量

在建筑工程领域，钢筋作为承载结构安全性的核心材料，其力学性能的评估至关重要。钢筋质量检测聚焦于抗拉强度、屈服强度及焊接性能等核心要素，以全面确保结构的安全稳定。

第一，抗拉强度。检测人员将钢筋样品置于高精度的拉力试验设备中，逐步施加拉力直至样品断裂。通过精确记录断裂前的最大拉力值，并结合样品的实际横截面积，计算出抗拉强度值。以直径25mm的钢筋为例，若其断裂前承受的最大拉力为300kN，则计算所得的抗拉强度约为611MPa，这一数值直接体现了钢筋抵抗拉伸破坏的极限能力。

第二，屈服强度。通过实施钢筋弯曲试验，检测人员将钢筋样品置于专用试验装置上，施加预定的弯曲力至特定角度（如 180° ），随后细致观察钢筋表面是否出现裂纹或断裂迹象。若样品表面保持完好，未出现裂纹，则表明该钢筋具备良好的塑性变形能力，满足工程加工与使用的严格要求。

第三，焊接性能。检测人员从已完成焊接的钢筋中截取代表性接头样品，进行拉伸与弯曲性能的全面测试。这一过程验证焊接接头的强度与韧性是否达到既定标准，从而保障钢筋连接处的稳固可靠，对整体结构的稳定性具有至关重要的影响^[4]。

3.4 检测水泥质量

水泥作为混凝土构成中的关键胶凝材料，其质量直接决定了混凝土的物理力学性能及耐久性。因此，水泥质量检测需从物理性能、化学成分、微观结构以及环境与安全等多个维度进行全面剖析。

第一，物理性能。通过测量水泥浆体的稠度、凝结时间以及强度等关键参数来评估其物理性能。稠度测试采用维卡仪器进行精确测量，以评估水泥浆体的流动性；凝结时间测试则运用维卡针法记录水泥从初凝到终凝的全过程时间；而强度测试则通过制备标准试块并在特定条件下进行养护后测定其抗压强度，以确保水泥硬化后的力学性能满足工程设计要求。

第二，化学成分。检测人员运用先进的X射线荧光光谱法等技术手段，对水泥中的氧化钙、硅酸盐、铝酸盐等关键成分进行精确测定，为水泥品质的科学判断提供有力依据。例如，优质硅酸盐水泥中的氧化钙含量通常被严格控制在64%~67%的范围内。

第三，微观结构。检测人员借助扫描电子显微镜（SEM）等高端设备，深入探究水泥颗粒的微观形态、水化过程及其产物特征，为水泥性能的优化与改进提供宝贵的理论依据。

第四，环境与安全。检测人员通过 γ 射线能谱分析法

测定水泥中的放射性核素含量,并采用原子吸收光谱法或等离子体质谱法等先进技术手段测定有害物质(如重金属、氯化物等)的含量水平,以确保水泥产品符合相关安全标准与环保要求,为建筑工程的可持续发展提供坚实保障。

4 建筑工程材料检验检测技术的应用优化策略

4.1 优化检测试验技术标准

在建筑工程材料检验检测技术的深入探索中,构建并持续优化检测试验技术标准体系成为提升检测效能与精度的关键途径。这要求标准体系能够紧密追踪科技前沿,不断吸纳最新科研成果,同时灵活适应新材料与技术的涌现。第一,建立标准的动态评估与更新机制,确保标准内容始终与国际接轨,如针对纳米材料等新领域,及时修订力学性能测试规范,确保其科学性与适用性。第二,推进标准的国际化融合,采纳国际通用的测试标准,促进全球范围内材料质量评价的一致性,为跨国工程合作奠定坚实基础。第三,融入自动化与数字化技术,推动标准向智能化方向发展,提升检测流程的自动化程度与数据处理的精确度,增强数据的可追溯性与可靠性^[5]。第四,建立规范流程,这包括从样品采集、预处理、测试操作到数据记录与分析的每一个环节,都应制定详细、明确的操作指南与质量控制标准。通过规范流程,确保检测过程的标准化与规范化,降低操作风险,提高检测结果的重复性与可比性。

4.2 提高检测试验人员的技术能力

检测试验人员的专业素养直接关系到检测结果的准确性与可靠性,是检验检测工作的核心要素。因此,需构建全方位、多层次的培训体系,以实现专业知识与实操技能的双重飞跃。一方面,深化材料科学基础知识的教育,确保人员具备坚实的理论基础;另一方面,强化实操技能培训,涵盖设备操作、维护、故障排除等关键环节,以提升测试效率与数据质量。同时,紧跟行业发展趋势,定期举办新技术、新材料研讨会,促进知识更新与技能拓展,保持人员专业水平的领先性。此外,建立健全考核与认证体系,通过严格的职业资格考试与持续的能力评估,激励人员自我提升,确保检

测团队的整体素质满足行业高标准要求。

4.3 调整建筑工程材料检测试验系统

为应对检测效率与数据质量的双重挑战,需对建筑工程材料检测试验系统进行根本性的革新与优化。第一,深入分析现有检测流程,识别瓶颈环节,通过流程再造减少人工干预,提升自动化水平,如引入自动化测试设备以减少手动操作时间,提高数据记录的准确性。第二,加大先进检测技术与设备的投入力度,如采用高精度自动化混凝土压力测试系统,以加速测试进程并提升数据精度。同时,完善质量管理体系,实施严格的设备校准与质量控制程序,确保测试过程的规范性与结果的可靠性。在数据处理层面,充分利用大数据、云计算等现代信息技术手段,构建高效的数据处理与分析平台,实现数据的快速存储、检索与深度挖掘,提升数据的应用价值与决策支持能力。第三,统一测试标准与操作规范,促进不同项目、团队间的无缝对接与高效协作,降低沟通成本,提升整体工作效率与项目管理水平。

5 结论

综上所述,建筑工程材料作为工程质量的重要基础,其检验检测工作的准确性与可靠性至关重要。因此,需不断优化检测试验技术标准体系,强化检测试验人员的专业能力建设,并重构检测试验系统以提升检测效率与数据质量。通过这些策略的实施,可确保获得准确可靠的检测结果,为建筑工程施工提供有力指导,进而保障整体工程效益的实现。

参考文献

- [1] 安永胜.节能环保条件下建筑工程材料检测的重要性[J].居舍,2024(19):39-42.
- [2] 袁泽锋.建筑工程实体检测中建筑材料检测技术[J].居舍,2024(18):57-60.
- [3] 夏春秋.智能化技术在建筑工程材料检测中的应用[J].实验室检测,2024,2(6):5-8.
- [4] 朱建琪.建筑工程材料试验检测技术及措施探究[J].居舍,2024(13):47-49.
- [5] 王力强.建筑工程材料检测技术与运用实践分析[J].中国建筑装饰装修,2024(9):114-116.

A Grinding Shear Device for the Determination of Oxygen, Nitrogen and Hydrogen in Metal

Zhaojun Tan

Baiyin Product Quality Supervision and Inspection Institute, Baiyin, Gansu, 730900, China

Abstract

The determination of oxygen and nitrogen and hydrogen in metal adopts the traditional method, which is manual grinding and shear technology, the sample is easy to heat and oxidation, resulting in the accuracy of oxygen and nitrogen and hydrogen content determination results. In order to solve this problem, a grinding shear device for measuring oxygen and nitrogen in metal was developed. In this paper, we conduct research on a grinding shear device for the determination of oxygen, nitrogen and hydrogen content in metal, including key components (including X-axis regulating mechanism, Y-axis regulating mechanism, clamping rotation driving mechanism, driving mechanism, grinding mechanism, shear mechanism and cooling mechanism). After testing, it is proved that the device realizes the integration of grinding sample and cutting sample, and improves the quality of the sample, the accuracy of the test results and the work efficiency, with simple structure and convenient operation.

Keywords

metal; oxygen, nitrogen and hydrogen content; determination of samples; preparation; grinding and shear device

一种金属中氧氮氢含量测定试样制备用打磨剪切装置

谈昭君

白银市产品质量监督检验所, 中国 · 甘肃 白银 730900

摘 要

金属中氧氮氢测定试样前处理采用传统方法, 是对试样进行人工打磨和剪切技术, 试样易发热易氧化, 造成氧氮氢含量测定结果准确性降低。为有效解决这方面问题, 一种金属中氧氮氢含量测定试样制备用打磨剪切装置被研制出来。论文针对一种金属中氧氮氢含量测定试样制备用打磨剪切装置展开研究, 重点关键部件 (包括X轴调节机构、Y轴调节机构、夹紧旋转驱动机构、打磨机构、剪切机构和降温机构) 功能设计。经过测试证明, 该装置实现了磨样及剪样一体化, 提高了试样质量、检测结果准确度及工作效率, 结构简单, 操作方便。

关键词

金属; 氧氮氢含量; 测定试样; 制备; 打磨剪切装置

1 引言

中国冶金行业持续健康发展, 金属材料逐步迈向高质量、高性能的新材料研发。在冶炼过程中, 金属材料中含有氧、氮、氢等气体元素, 如果不能将其在金属中的含量控制在合理范围内, 金属材料的各项性能必然受到影响, 所以, 对金属中微量气体元素分析结果要求有较高精度^[1]。对金属材料中所含有的微量元素, 即氧、氮、氢含量进行分析的过程中, 可以采用两种方法, 一种为化学法, 另一种为仪器法, 其中比较具有代表性的是 ONH 分析仪法, 不仅分析速度快, 而且结果精准, 是目前广泛采用的分析方法。由于氧、氮、氢气体元素在金属中含量很低, 其性质又相对较活泼, 应用仪器分析法对金属材料试样的取样以及制样都有很高

要求。按照国家相关标准, 进行试样选取的时候, 将样品块低速车削为符合要求的棒样^[2]。首先, 使用锉刀打磨样品, 将氧化层以及各种污染物去除, 而且不会二次带入吸附氧或氢, 然后使用钢筋剪将试样剪成大约 0.5g 左右的小段, 才能用于测定。棒状金属材料试样在人工锉刀打磨剪切过程中, 由于试样受热会容易被氧化, 二次带入吸附氧或氢, 并且人工磨样过程均匀度不够, 不能保证试样表面的光洁度, 导致试样检测结果产生误差; 其次, 锉刀磨样效率低, 造成检验工作效率不高; 此外, 钢筋剪剪切过程中试样出现飞溅现象, 对人员安全造成隐患。为有效解决以上问题, 一种金属中氧氮氢含量测定试样制备用打磨剪切装置被研制出来。

2 打磨剪切装置的设计以及所发挥的功能

金属中氧氮氢含量测定试样制备用打磨剪切装置的设计中, 所涉及的主要内容包括四个部分, 即打磨机构、剪切机构、控制系统以及辅助设备^[3]。

【作者简介】谈昭君 (1988-), 女, 中国甘肃白银人, 硕士, 工程师, 从事产品质量监督检验研究。

2.1 打磨机构

打磨机构所发挥的功能是切割之后的试样表面进行处理,将氧化层以及其他杂质去除,避免影响测定结果。打磨机构所使用的是多级打磨工艺,包括粗磨、细磨以及抛光等,确保试样表面有较高的光滑度和平整度,没有瑕疵。进行打磨操作的过程中,装置能够对试样温度以及表面状态进行自动监测,避免由于过度打磨造成试样改变形状或者出现破损现象。

2.2 剪切机构

在打磨剪切装置中,剪切机构作为核心部分存在,其所发挥的主要功能是将金属材料切割之后成为适合测定的小块试样。剪切机构的切割中采用精度很高的刀具,能够确保试样完整,还能够加快操作速度,切割准确无误^[4]。此外,剪切机构还有配套的自动化运行进给系统,可以根据实际操作需要对切割深度进行调整,还可以适当调整速度,保证每一次切割都保持一致,且结果相同,提高精准度。

2.3 控制系统

在整个的打磨剪切装置中,控制系统发挥“大脑”作用,其所发挥的主要作用是对各个机构工作进行协调,保证制备的整个过程没有人工参与,而是自动化操作,以在控制中具备较高的精准度^[5]。控制系统运行中,发挥主要作用的是可编程逻辑控制器,其采用编程的方法设置各项参数,对于剪切和打磨操作实时监控并根据实际需要自动调整,保证制备每一个试样的过程中与预设标准相符合。此外,控制系统还能够将装置运行中产生的数据信息记录并准确分析,制备报告详细记录并生成,以此为参考更好地开展后续测定工作。

2.4 辅助设备

辅助设备主要包括三个部分,即冷却系统、除尘系统以及安全防护装置。其中,冷却系统发挥的功能是进行剪切和打磨操作的时候冷却试样和刀具,避免温度过高造成试样变形或者刀具过度磨损;除尘系统所发挥的功能是对打磨过程中产生的粉尘进行收集和处理,塑造干净卫生的工作环境,这也是维护操作人员安全的重要条件^[6]。安全防护装置有紧急停止按钮,危险情况下按下,以避免危险,同时还有防护罩,对现场操作人员起到安全防护作用。

3 氧氮氢含量测定试样制备用打磨剪切装置设计以及效果

3.1 设计

按照传统方法,以手工操作为主,金属中氧氮氢含量测定棒状试样制备过程中需要面对的问题是速度非常慢,影响工作进度,而且劳动强度大,现场工作人员需要承担很大的风险^[7]。本研究中,设计一种金属中氧氮氢含量测定试样制备用打磨剪切装置,制备试样的效率提高且保证质量,保证检验数据具有较高的准确可靠性。

本设计的氧氮氢含量测定试样制备用打磨剪切装置中,

主要部分是工作台,工作台上设置有多个机构,即X轴调节机构、Y轴调节机构、打磨机构、剪切机构。Y轴调节机构上安装X轴调节机构,其中,X轴调节机构上安装有夹紧旋转驱动设备,用于夹持棒状金属材料的夹紧旋转驱动机构在X轴调节机构、Y轴调节机构的配合调节下,先后移动到打磨机构、剪切机构位置,进行打磨并剪切处理。

从X轴调节机构的构成情况来看,主要包括X轴安装架、X轴丝杠、X轴螺母块、X轴双滑轨、X轴滑块,工作台上安装X轴安装架并固定好,X轴丝杠两端转动,在X轴安装架上固定好,X轴丝杠的一端穿出X轴安装架之后,还连接有X轴手轮并固定好,X轴螺母块与X轴丝杠螺纹连接,X轴双滑轨安装在X轴安装架上并固定好,X轴丝杠下方有X轴双滑轨,此时X轴螺母块底部固定好的X轴滑块连接X轴双滑轨。

从夹紧旋转驱动机构的构成情况来看,包括L形支架、驱动电机、联轴器、转轴、支座、卡样夹爪,X轴螺母块上安装L形支架并固定好,驱动电机、支座都在L形支架上固定好,转轴中部转动并在支座中安装好,转轴一端通过联轴器连接到驱动电机的输出轴上,其另一端连接用于夹持棒状金属材料的卡样夹爪。

从Y轴调节机构的构成情况来看,包括Y轴安装架、Y轴丝杠、Y轴螺母块、Y轴滑块、Y轴双滑轨,Y轴安装架,安装在工作台上并固定好,Y轴丝杠两端转动在Y轴安装架上安装好,Y轴丝杠的一端穿出Y轴安装架后与Y轴手轮连接并固定好,Y轴螺母块连接到Y轴丝杠螺纹上,Y轴双滑轨安装于Y轴架上并固定好,Y轴丝杠下方安装有Y轴双滑轨,在Y轴螺母块底部固定有Y轴滑块,连接到Y轴双滑轨上,实现滑动连接,X轴安装在Y轴螺母块上安装并固定好。

从打磨机构的构成情况来看,包括砂纸、安装座、微调组件,竖向设置的砂纸安装过程中,需要使用弹簧^[8]。工作人员先将多个弹簧均匀布设好之后,在安装座前端将砂纸安装好,安装座后端则使用微调组件在X轴安装架右侧安装好之后固定,微调组件所发挥的功能是对安装座Z轴和Y轴方向上的位置进行调节。

从微调组件的构成情况来看,包括竖向滑轨、竖向滑块、水平滑轨、水平滑块、水平限位旋钮、竖向限位旋钮,安装座后端右侧与竖向滑块连接,竖向滑块连接竖向滑轨,实现滑动连接,竖向滑轨上螺纹与竖向限位旋钮连接,通过对竖向限位旋钮进行调节之后,伸入竖向滑轨之后,将竖向滑块压紧,竖向滑轨右侧与水平滑块连接,水平滑块连接水平滑轨,实现滑动连接,水平滑轨上螺纹与水平限位旋钮建立连接,通过对水平限位旋钮调节之后伸入到水平滑轨之后,将水平滑块压紧,水平滑轨在X轴安装架右侧安装并固定好。

此外,打磨机构还包括降温机构,从其构成情况来看,包括净水槽、废水槽、万向出水管,工作台上安装净水槽并

固定好，X轴安装架右侧安装废水槽并固定好，具体在砂纸下方，X轴安装架右侧安装万向出水管，在水管的中部安装，万向出水管下端通过连接管连接到净水槽内设置的水泵上。

工作台上还安装按钮电控盒，连接驱动电机、水泵和电动液压缸，按钮电控盒外面连接电源。在工作台的底部还安装支脚，其高度可以根据实际需要调节高度。

3.2 效果

与传统的技术相比较，本装置在应用中可以获得的技术效果如下：

其一，使用本设计装置分析金属材料中氧氮氢含量的时候，对棒状试样进行打磨并剪切处理，做到了磨样与剪样操作一体化，现场的工作人员工作量减少，工作强度降低。金属氧氮氢测定试样制过程中，进度明显加快且保证质量，试样质量和检测效率明显提高，各项操作便捷^[9]。

其二，本装置的应用中，通过设置夹紧旋转驱动机构将棒状试样固定好，并可将棒状试样带动起来旋转，卡样夹爪所使用的钻夹头具有可调节性，对各种直径的棒状试样都适用。通过将降温机构设置好，打磨处理的时候采用水冷降温方法，避免高温操作导致试样变形（图1）。

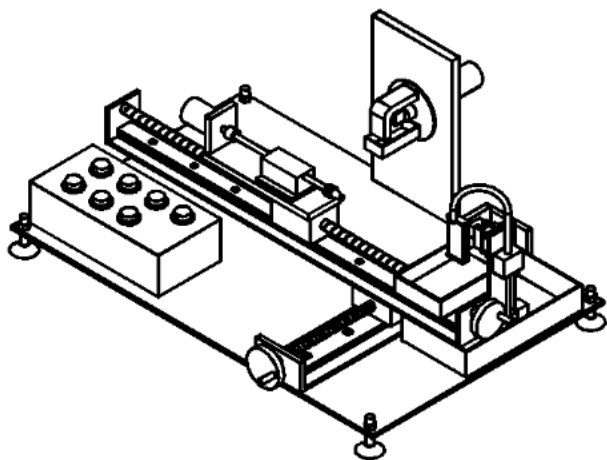


图1 新型氧氮氢含量测定试样制备用打磨剪切装置

4 打磨剪切装置的优势

本设计的新型打磨剪切装置所具备优势如下：

其一，高效性。该装置采用自动化设计，能够在短时间内完成大量试样的制备工作，大大提高了工作效率。

其二，精确性：通过高精度的剪切和打磨工艺，确保

每个试样的尺寸和表面状态都符合测定要求，从而提高测定结果的准确性^[9]。

其三，安全性：装置配备了完善的安全防护措施，确保操作人员在操作过程中的安全，减少意外事故的发生。

5 结语

通过研究明确，现代工业生产过程中，金属材料的质量控制至关重要。为了确保金属材料的各项性能的稳定可靠，要对其中的氧、氮、氢等元素的含量进行精确测定。然而，这些元素含量测定结果准确的一个重要条件是提供高质量试样，制备试样的时候，如果按照传统的人工操作方法，测定结果受到各种因素的影响而存在偏差。所以，积极开发一种高效、精确的试样制备用打磨剪切装置显得尤为重要。金属中氧氮氢含量测定试样制备用打磨剪切装置研发应用，试样制备质量和效率都有所提高，且保证结果的精确度，为金属材料质量控制提供技术支持。随着科学技术创新发展，这种装置的结构和功能不断完善，对于工业企业的金属新材料研究以及生产起到重要作用。

参考文献

- [1] 施宗友,王勇,刘元清.元素分析仪测量煤样中碳,氢,氮含量的方法研究[J].煤炭加工与综合利用,2024(4):66-70.
- [2] 栗忱.碱解扩散法测定土壤中碱解氮含量的测定条件分析[J].新疆有色金属,2022,45(1):23-24.
- [3] 李斌,刘攀,张毅,等.惰气熔融-红外吸收光谱法或热导法测定无机材料中氧氮氢的标准方法研究进展[J].中国无机分析化学,2024(10):58-59.
- [4] 吴彪,李刚,宋帅男,等.不同氮含量电弧增材制造不锈钢点蚀和电化学腐蚀行为研究[J].材料科学与工艺,2024(4):89-90.
- [5] 张亮亮,吴锐红.不同前处理制样方法对钢中氧、氮测定结果的影响[J].化学分析计量,2020,29(1):99-102.
- [6] 彭福本,蔡煜.样品制备方式对钢中氢分析结果的影响[J].钢管,2022,51(5):64-66.
- [7] 安琳,吴昊,韩鑫,等.非贵金属 $\text{Co}_{5.47}\text{N/N-rGO}$ 助催化剂增强 TiO_2 光催化制氢性能[J].无机材料学报,2022,37(5):534-540.
- [8] 次超,赵强,刘雪贞,等.无金属光催化剂催化过氧化氢生产的研究进展[J].太原科技大学学报,2023,44(5):476-485.
- [9] 常乐.利用箭推法分析氢氧化钠溶液与常见非金属氧化物反应的机理[J].化学教育(中英文),2023,44(3):118-124.

Application Status and Standardization Analysis of FRP Sand Sandwich Pipe

Jiawei Wang

Hebei University of Engineering, Handan, Hebei, 056038, China

Abstract

With the rapid expansion of cities and the acceleration of infrastructure construction, the requirements for high-performance pipeline materials are also continuously rising. FRP sand sandwich pipe combines the excellent corrosion resistance of glass fiber reinforced plastic and the strength advantages of sand sandwich layer, so it is widely used in municipal, highway and other industries. Its unique structure makes it have good stress resistance and weather resistance, and can adapt to the complex environmental conditions. In addition, the weight of FRP sand pipe is light, convenient installation, reduce the construction cost. This paper will analyze the characteristics and application status of FRP sand sandwich pipe, and some suggestions will be made to promote the possibility of future development.

Keywords

FRP sand sandwich pipe; characteristics; application status

玻璃钢夹砂管应用现状与标准化分析

王佳伟

河北工程大学, 中国 · 河北 邯郸 056038

摘 要

随着城市的快速扩张与基础建设的加速进展, 对于高性能管道材料的要求也在持续上升。玻璃钢夹砂管结合了玻璃纤维增强塑料的优异耐腐蚀性和夹砂层的强度优势, 因此被广泛应用于市政、公路等多种行业之中。其独特的结构使其具备了良好的抗压能力和耐候性, 能够适应复杂的环境条件。此外, 玻璃钢夹砂管的重量轻、安装便捷, 降低了施工成本。论文将分析关于玻璃钢夹砂管的特性和应用现状, 并且也会提出一些建议来促进未来发展的可能性的探索工作。

关键词

玻璃钢夹砂管; 特性; 应用现状

1 引言

作为一种新型的管道材质, 玻璃钢夹砂管是由玻璃纤维增强塑料和夹砂层复合而成。这种管道既拥有卓越的物理及化学特性, 又具备轻便的优点, 因此被广泛运用到市政、公路等众多行业中。伴随着经济发展和技术的提升, 对玻璃钢夹砂管的需求量不断上升, 其标准化的研究和实际应用状况变得愈发关键。

2 玻璃钢夹砂管的构造与特性

2.1 构造

作为一种复合材料管道, 玻璃钢夹砂管一般包含三个部分: 内衬层、结构层和表面层。最外层为表面层, 主要作用是保护和防止老化。结构层由纤维缠绕层和夹砂层组成,

它的主要作用是承受荷载、抵抗变形, 能有效提高管道的坚固程度与刚韧性。内衬层具有防腐、防渗的作用, 可以降低因为腐蚀而带来的维修费用。玻璃钢夹砂管这种独特的构造不仅在质量方面显得较为轻盈, 方便装配和搬运, 而且依然能够维持着强大的负荷能力和耐磨效果, 使之能在各种土壤及水分条件下的外界环境下展现出稳定的特性并确保安全性, 适合应用到各类产业建设项目之中^[1]。

2.2 特性

2.2.1 耐腐蚀性

由于具有卓越的抗腐蚀能力, 尤其是对各类酸碱物质的表现更为显著, 使得玻璃钢材质备受赞誉。该种材料独特的分子构造赋予它抵御化学变化的能力, 防止因为腐蚀导致管道破损的问题出现。所以, 在化工厂、石油业及废水处理领域, 玻璃钢夹砂管的使用是十分合适的。此项防腐功能既保证了管道的长久运行, 也减缓了保养次数与相关的支出, 进而提高了总体效益。同时, 采用玻璃钢夹砂管也有助于降低泄漏的可能性, 有利于环保和人身安全, 这对产业的持续

【作者简介】王佳伟(2000-), 男, 中国河北石家庄人, 在读硕士, 从事新型土木工程材料研究。

进步至关重要。

2.2.2 轻质高强

相较于传统的金属管道，玻璃钢夹砂管的质量明显更低，因此在搬运及装置的过程中更加便捷。它的轻量化特性不但减少了物流费用，也削减了人力的设备的需求，进而提升了建设速度。同时，虽然它体积小且轻便，但是玻璃钢夹砂管却能保持强大的抗压性和刚度，足以抵挡一定程度的外部压力和撞击力。这种强韧性与轻量的完美融合，让它在众多工程任务中有极大的适应能力，特别是在空间受限或者需降低地基负担的使用环境里表现尤为出色。

3 玻璃钢夹砂管的应用现状与标准化分析

3.1 玻璃钢夹砂管的应用现状

3.1.1 在排水工业中的应用

长久以来，中国在城市排水的设施上，普遍使用了成本较低且制造过程简单的钢筋混凝土排水管。然而，这些管道面临着诸如水流性能不足、接口过多、对地基有较高需求、容易破损和维修难度高等问题。根据住建部通知，直径小于500mm的钢筋混凝土管不再适用于城市的市政污水与雨水分离系统。因此，由其优越的抗腐蚀能力、重量轻而强度高、传输流量较大、施工便利、周期缩短及总投入费用相对降低等优势所驱使，玻璃钢夹砂管被视为一种理想的选择来替换传统的钢筋混凝土管，图1为离心浇铸玻璃钢夹砂管。



图1 离心浇铸玻璃钢夹砂管

根据计算，当管道的直径和坡度保持一致，并且考虑到管道处于满流状态时，玻璃钢夹砂管的输水量是钢筋混凝土管的1.625倍。在相同的输水量下，玻璃钢夹砂管使用的管道内径大约是钢筋混凝土管的80%。

由于其优秀的耐腐蚀性能和对各种化学物质的抵御能力，包括酸、碱、盐、海水及未经过处理的水污染物，使得玻璃钢夹砂管成为理想的选择用于海滨城市的地下管线建设^[2]。

3.1.2 在污水处理领域的应用

当前用于水质收集与传输的主要管道包括水泥管、钢筋混凝土管、钢铁管及近年来研发出的玻璃纤维增强塑料内衬

管。在这四种类型中，GFRP不仅价格实惠且能防止再次污染的发生，因此在我国水资源管理行业取得了显著成功，并在全国范围内得到广泛使用。此项技术最常选用的两种规格为DN2500和DN2200的大型管道，尤其是在中国南部沿海地区更为常见。此外，它还可解决污水管道在污泥层中的设置问题，同时也解决了管道防浮和防沉的问题。

尽管如此，鉴于玻璃钢夹砂管是新型材质，其制造过程仍有待优化，因此在推进过程中需要严密监控工程误差，确保管线中心点的最小偏移不超过规定范围。尤其是对于大型管道来说，如果偏离度太大可能导致压力集聚及管道弯曲超出许可阈值，从而对连接处的金属外壳造成损坏或影响管道本身，这需要引起重视并加以防范。

3.1.3 在非开挖更新管道技术中的应用

“管中管”是一种城市建设过程中用于修补老旧管道的技术，也被称为非开挖更新管道技术。这种技术的优势在于使用了高质量、简便且成本效益高的玻璃钢夹砂衬管来实现管道的无损修复。由于它具有广泛的市场应用前景和潜在的发展空间，因此在管道非开挖在线修复方面占据了一部分市场份额，有以下优势：

①对于老旧设施的要求较低，能够满足一定程度上的弯曲需求，且清洁度的规定较为宽松。②施工简单、快捷，可带少量水施工。③由于高强的抗压性和稳定性能，使得它可以单独承担上部负载压力，从而避免了因为老设备损坏导致的倒塌问题。④它的内部表面平整干净，流动效率非常出色并能节约能源消耗。⑤在防锈方面表现优秀并且使用年限很长久，同时保养成本也相对便宜很多。⑥因为整体建设价格比较实惠等优点被广泛应用于各种项目中。

3.2 现行标准

现阶段，针对玻璃钢夹砂管的主要规定涉及其物理特性、化学稳固度、机械特性和装配准则等多个方面。这一系列规定的设立既给制造商提供了一个清晰的产品指南，也使得消费者在挑选与运用商品的过程中有了坚实的参照基础。例如，中国制定的GB/T 21238—2016《玻璃纤维增强塑料夹砂管》就对商品的检验规则、包装及贮存设定了具体的目标，以保证商品在真实的使用场景下具有必要的抗腐蚀能力、刚度和使用期限。另外，玻璃钢夹砂管相关标准的制定对制造商及使用者来说也是一项重要的科技支援措施。通过贯彻此项规定可以提高行业的总体技能水准，并改善市场的声望。这也有助于企业更重视产品品质的管理工作，从而降低不良品流入市面的情况发生。与此同时，随着技术的进步，需要持续地修订或优化已有的规范来满足新的材质需求，如新型复合材料等的新加工方法或者全新的运用方式的要求。

4 玻璃钢夹砂管标准化推进措施

4.1 强化标准化建设

第一，为促进健康发展的玻璃钢夹砂管，实施标准化

建设是一个关键任务。提倡成立一个专业的行业标准化机构,专责管理与玻璃钢夹砂管相关的标准制订、修改及普及。这个组织应该包含来自各行各业的专家、研究人员和企业代表,并定期举行会议以对新型材料和技术展开深度探讨,从而保证标准的实时更新。

第二,建立标准培训体系。需要采用线上与线下混合方式来对制造商及员工实施规范化的教育,使其能充分领悟并且精通相关的规定。可以利用组织产业会议、网络教学和技术分享等方式达到这个目标。此外,行业联盟应设定奖励机制,激励企业在标准化发展上的创新和应用,从而提高整个业界的标准观念。

第三,推动国际标准的引入。企业可以依据国际规范来独立开发和制造产品,从而提高其在世界市场的竞争优势。借助与国际标准化组织的关系,掌握最前沿的世界标准趋势,使得国家标准更加具有预见力和灵活性。建立一套有效的评测系统,定期检查并评估各家企业的标准实践情况,以保证它们能切实地付诸行动。

4.2 生产工艺的提升

为了提升玻璃钢夹砂管产品质量,需要积极推进制造流程的革新。这需要我们投资于新型的高级自动化生产工具,例如全自动化的模具制备机器与树脂浸泡装置等。这些高级装备能大幅度提升产线的高度自动化程度,降低因人为操作不当所导致的不可预测的影响。通过使用这些设备,可以增加产能并且保证产品的尺寸精确性和强度的统一性。

对于企业来说,积极参与科技研究并取得自有专利是同等重要的任务。在此过程里,他们可以通过与高校及研究所达成协作来克服技术难题。例如,为了满足玻璃钢夹砂管在高温、高压条件下的功能需求,可以对材质及其配比进行调整和优化,从而扩大其适用领域。再者,企业需要定期举办科技研讨会,以便于分享他们在制造流程上的创新成果,营造出一种优秀的技术共享风气。

企业可定期安排专家到场授课,以帮助员工熟悉最先进的制造技巧与执行标准。设立了技能评估系统,激励员工

在实际工作中逐步提高其专长程度。创建员工反馈渠道,让高层能听到员工对于制程流程的想法及看法,并迅速做出调整。透过上述各项具体的做法,企业能在制作过程中取得稳定进步,进而保证高质量的玻璃钢夹砂管道的生产^[1]。

4.3 加强市场监管

第一,建立完善的产品质量追溯机制。通过运用二维码或者RFID标签等先进的技术手段,对每件商品创建独特的跟踪记录,这样一来,顾客在购物时可以利用这些工具来查看该商品的制造过程及质检结果。这种做法不但能提升客户的信赖度,同时也能给监管部门提供有力的数据依据,有助于快速识别并处置不良品。

第二,监管机构应定期对市场进行抽检,并从流通过程中选取一定比例的玻璃钢夹砂管样本以进行随机检测,以此来保证市面上的商品满足国家及行业的规范要求。对于不符合标准的物品,除去回收外,还需要追踪到制造商,并对违规行为予以惩罚和制裁,严密监控低质量产品的流动。至于严重的违法事件,提议设立黑名单机制,公布于众,提醒其余企业注意,从而产生强大的威慑效果。

5 结语

尽管新型的玻璃钢夹砂管因其卓越特性而在众多行业中得到普遍使用,但该领域的标准化程度还有待提高,这对于保证产品的品质及市场的秩序至关重要。展望未来,技术的发展与市场需求的提升将会使玻璃钢夹砂管的使用范围更宽泛。只要继续研究并优化,可以确信它会在更多的领域产生重大影响。

参考文献

- [1] 李舜.玻璃钢夹砂管道工程监理的技术标准与效能评估研究[J].水利科技与经济,2024,30(9):147-152.
- [2] 孙言文.玻璃钢夹砂管有限元渐进失效分析及结构优化[D].天津:河北工业大学,2021.
- [3] 雷晶,宋明远.玻璃钢夹砂管的快速施工方法[C]//土石坝技术2019年论文集,中国水电基础局有限公司二公司,2021:6.

Integrated Research and Treatment of Corrosion and Scaling in Chian Oilfield

Zhiping Wang Yuhua Wu Ya Xu Zhonghua Duan Jiancheng Miao*

No.2 Oil Production Plant, Jiangsu Oilfield Company, Huai'an, Jiangsu, 211600, China

Abstract

Research on corrosion and scale in red shore oil area. One well and one policy, to reanalyze and evaluate the extracted liquid, gas production, microorganisms and scale samples, and find out the change factors of corrosion and scaling. The corrosion and scale is mainly due to the production of carbonate salt at the bottom of the well, carbon dioxide under the pressure change, and scaling with calcium in the wellbore, and corrosion. Anticorrosion and scale remover are selected, and the field application scheme is formulated. Different anti-corrosion and anti-scale schemes are optimized for different Wells to find out the best scheme. At the same time, combined with the actual situation of the oilfield, the optimized process method is developed. Through on-site in-depth research and integrated management, good results have been achieved.

Keywords

oil well; scaling; corrosion; corrosion resistance

赤岸油田腐蚀结垢一体化研究与治理

王志平 吴玉华 许雅 段中华 缪建成*

中国石油化工股份有限公司江苏油田分公司采油二厂, 中国·江苏 淮安 211600

摘 要

针对赤岸油田腐蚀结垢问题开展了重新认识与评价研究。一井一策, 对腐蚀结垢井重新分析评价采出液、产气、微生物和垢样, 找出腐蚀结垢变化因素, 腐蚀结垢主要是因为井底的碳酸盐产出, 在压力变化下产生二氧化碳, 在井筒中与钙产生结垢, 并产生腐蚀。优选了防腐蚀防垢药剂和除垢剂, 并制定了现场应用方案。对不同井进行不同的防腐防垢方案优化, 找出最佳方案。同时, 结合本油田实际情况, 制定出优化的工艺方法。通过现场深入研究与一体治理, 取得较好的成效。

关键词

油井; 结垢; 腐蚀; 缓蚀阻垢

1 引言

赤岸油田现油井开井 317 口, 日产液量 4100t, 日产油 350t, 综合含水 91.46%。目前水井开井 127 口。赤岸油田腐蚀结垢一直困扰着油田的稳定生产, 经过近年的治理, 有一定的效果, 但 2020 年又出现反复。从躺井趋势看, 2018—2019 年占比由 8.6% 降至 8.1%, 而 2020 又上升至 12.7%。影响产量 360t。

随着采油工艺技术的持续发展, 国内外也出现了越来越多的防腐阻垢技术, 主要分三大类: 物理法、化学法、工艺法^[1]。物理法主要是施以物理作用, 使介质不能与另一介质结合的能力; 化学法是添加化学物质, 使化学阻垢剂和

结垢离子相互作用, 从而改变结垢物质的晶型结构, 或使成垢离子均匀分散或与成垢离子结合等方式阻止结垢, 并在钢材表面形成防护膜; 工艺法指的是以控制或改变工艺作业条件来防腐防垢。

2 油井情况分析

2.1 地层温度和压力情况

因为地层温度和压力是腐蚀结垢的主要影响因素, 并且是非常重要的影响因素, 因此地层温度和压力必须查明。赤岸地区地下温度和压力如表 1 所示。

赤岸油田的各区块的平均压力为 14.57MPa, 最大压力为 17.2MPa, 最小压力为 10.2MPa; 平均温度为 68.53℃, 最高温度是 80.3℃, 最低温度是 53.5℃。

2.2 采出水分析

腐蚀结垢的主要介质是采出水, 因此对油田的采出水按 SY/T 5329—2022《碎屑岩油藏注水水质指标及分析方法》进行了分析(表 2)。

【作者简介】王志平(1975—), 中国江苏海门人, 本科, 高级工程师, 从事油气田开发研究。

【通讯作者】缪建成(1976—), 中国江苏响水人, 本科, 高级工程师, 从事油气田开发研究。

表 1 赤岸地区地下温度和压力表

区块	原始温度 (℃)	原始压力 (MPa)
W2	68	15
W5	53.5	10.2
W6	65	13.5
W8	59	11.6
W9	80.3	17.2
W10	74.9	17
W11	80.3	17.2
W15	69	15.6
W27	66.8	13.8

表 2 赤岸油区采出水分析表

序号	井号	SRB	Mg ²⁺	Ca ²⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ²⁻	S (mg/L)	总矿化度 (mg/L)
1	W15-9	2500	10.2	25.1	6139.4	341.3	5342.9	537.4	90	18917.8
2	W2-26	70	71.1	16.8	5255.7	451.7	4735.8	358.3		16418.9
3	W2-45A	25	120.6	27.2	11395	1114.2	6800.1	418		30421.2
4	W2-75	250	33	37.7	11953.2	772.9	3400	358.3	40	26126.8
5	W2-51	2.5	67.3	14.7	7255.6	727.8	8925.1	477.7		26106.4
6	W2 平 1	250	12.7	12.6	5488.2	647.5	9289.4	537.4		23730.1
7	W2-12	70	30.5	25.1	7534.7	642.4	8500.1	776.2		26413.7
8	W2-3	250	15.2	12.6	8371.9	757.9	6848.6	453.8	50	25136.9
9	W2-60	250	34.3	10.5	7051	1154.4	3688.4	263.8		18842.4
10	W2-2	25	12.7	14.7	1116.2	1189.5	4929	296.8		10895.8
11	W11-9A	250	17.8	33.5	8576.5	833.2	1374.8	66		17358.9
16	W11-7 井		51.4	223.51	15520.74	1295.83	935.02	0		28711
	平均	358.41	39.73	37.83	7971.51	827.39	5397.44	378.64	60	22423.33

从数据分析看, 这些油井都是含氯含量在 5000~16000mg/L 之间, HCO₃⁻ 含量在 1300~10000mg/L 之间, CO₃²⁻ 含量 0~800mg/L 之间, SO₄²⁻ 含量在 300~1200mg/L 之间, 普遍含有 SRB, 有部分油井含有硫。

2.3 垢样分析

通过对以往作业井进行垢样取样后电子分析。

2.3.1 W2-35 注水井垢样

主要成分: XRD 显示主要为 FeCO₃, 其次为纤铁矿(铁氧化物)和 Fe(OH)₃。XRF 分析 Fe+C+O 占比超过 90%。

2.3.2 W2-56 井尾管垢样

主要成分: 铜铁铬硫化物(硫铁矿)、硫酸铝钠盐(钠明矾石)和硫酸铝钙盐(钙矾石), 少量含有硅酸钙和钙铝酸盐。

2.3.3 W15-9 井尾管垢样

主要成分: XRD 显示主要为 FeS、Fe₃S₄, 少量碳酸亚铁(菱铁矿)。XRF 分析 Fe+S 占比超过 79%。

2.3.4 W2-34 垢样

主要成分: XRD 显示 Fe₃O₄, FeS, Fe₃(PO₄)₃, MnS₂, CaCO₃, Ba₅(PO₄)₃OH, 垢样中腐蚀垢铁盐和沉积垢钙盐等

产物。XRF 分析 Fe+S 占比 38%, Ca 占比 37%。

2.3.5 W2-121 垢样

主要成分: XRD 显示 CaCO₃、CaO、Fe₂O₃、Fe₃O₄、FeCO₃、TiO₂、BaO、ZnO, 垢样中沉积垢钙盐和腐蚀垢铁盐等产物。XRF 分析 Ca 占比 54.82%, Fe 占比 11.16%。

2.3.6 W2 高压注水管线垢样

主要成分: XRD 显示 Fe₂P、FeS、FeCl₂、CaCl₂、CaCO₃、PCl₅, 垢样中主要为腐蚀垢铁盐等产物。XRF 分析 Fe+S 占比 51.23%, Ca 占比 0.28%。

2.3.7 注水井 W2-39 垢样

主要成分: XRD 显示 Fe₂O₃、FeS、FeCO₃、MgCl₂、MgO、MnS、MnO、BaCl₂、BaSO₄、CaCl₂、CaSO₄, 垢样中主要为腐蚀垢铁盐等产物。XRF 分析 Fe+S 占比 58.44%。

从分析来看, 油井垢主要是碳酸钙垢和铁腐蚀产物, 其中铁的腐蚀产物中二硫化亚铁为主要成分, 还包含铁与碳酸根结合成的碳酸亚铁。注水管线和注水井的结垢主要是硫化物腐蚀产物, 还有部分腐蚀的铁氧化物。

2.4 油井结垢预测

部分油井在腐蚀的同时还存在结垢, 对这些腐蚀结垢

油井用计算机软件进行结垢预测^[2]。

以韦 2-3 井为例（W2-3 井）：本井可能出现轻微结垢，最大结垢趋势出现在井底温度、压力较高部位，最大结垢趋势值 23.5，最大结垢量 29.5mg/L。现场作业监测表现为 1000~1400m 井段管杆有腐蚀结垢现象，尾管结垢较重，与结垢预测基本一致。

3 药剂优选

3.1 缓蚀阻垢一体剂优选

W 庄部分油井存在腐蚀结垢共生现象，对这种情况，优选了双效剂。室内评价结果表明，优选的缓蚀阻垢一体剂，缓蚀率达 91.6%，阻垢率达 95.6%（表 3）。

表 3 缓蚀阻垢一体化剂性能评价结果

实验条件	投加量， mg/L	腐蚀速率， m/a	缓蚀率，%	阻垢率，%
80℃，A3 挂片	空白	0.251	/	
	70	0.0212	91.6	95.6

对 W2-12 井、W9-14 井进行取样，开展新型双抗缓蚀剂室内评价实验，实验浓度分别为 100ppm 及 200ppm（表 4）。

表 4 缓蚀阻垢一体化剂性能现场情况下评价结果

编号	F（mm/a）
韦 2-12 原水	0.0074
韦 2-12（100）	0.00277
韦 2-12（200）	0.0026
韦 9-14 原水	0.0474
韦 9-14（100）	0.0053
韦 9-14（200）	0.0050

优选增强吸附型双抗缓蚀剂，控制腐蚀速率 0.01mm/年，可有效抑制局部点蚀。

3.2 除垢剂优选

化学除垢主要是通过向井筒加药进行清除井筒和近井地带的垢。从实验可以看出井筒中的垢主要是油垢、腐蚀产物以及碳酸盐。这些井筒除垢主要是向以除油和垢的溶解为主。为此，对除垢剂进行了优选^[3]。

主要考查了除垢剂的溶失能力和腐蚀性能。对三个样品进行了在 60℃下，与 W2 垢样反应 4 个小时，3 号样的溶失能力最高，溶失率达到 72.60%。

清洗剂中含有有机酸，同时加入一些高分子聚合螯合剂和分散剂。因此防腐蚀是清垢的主要问题，因此做了缓蚀试验，腐蚀速率能达到低于 1g/m²·h，低于油井酸化腐蚀率最低标准（表 5）。

3.3 制定现场施工方案

清洗步骤：

用加 300ppm 油层清洗剂的污水对井筒进行清洗，用量

为 1~1.5 倍井筒量。清洗温度为 80℃~95℃。

用加 15%除垢剂、加 2%缓蚀剂的污水对井筒进行浸泡。用本区块污水顶替到筛管位置。浸泡半个小时。

用本区块 1.5~2 倍井筒体积的污水，大排量洗出酸液（水敏区块用污水 1%防膨剂）。

表 5 除垢剂的腐蚀率测试数据

序号	钢号	原重 g	后重 g	失重 g	腐蚀率（g/m ² ·h）
1	1160	12.6302	12.5816	0.0486	5.56
2	1159	12.783	12.3527	0.4303	49.27
3	1154	12.8092	12.0508	0.7584	86.81
4	1155	12.8433	12.8348	0.0085	0.97

4 现场应用

目前，赤岸生产班站共有 41 口井在使用缓蚀阻垢一体剂，使用方法为井口冲击式加药，加药量为 100ppm。加药方案调整后较调整前作业周期延长的井有 17 口，调整前平均周期 315 天，调整后为 586 天，平均延长周期为 271 天；使用后作业周期未延长的井有 24 口，其中 19 口未作业，持续生产；19 口未作业，调整前平均周期 544 天，目前已经生产 267 天，持续观察中。使用后作业周期未延长 5 口井中 3 口井因其他因素作业，2 口井与腐蚀结垢相关，要进一步进行研究^[4]。总体来看，该药剂在油井生产中起到了较好的防腐蚀防垢作用。

5 结论

①在赤岸油区存在大量的油井有腐蚀和结垢存在，它们的存在给油田的生产和安全带来危害，增加了油田的生产成本。②从水分析数据看，这些油井都是含氯在 5000~16000mg/L 之间，HCO₃⁻含量在 1300~10000mg/L 之间，CO₃²⁻含量 0~800mg/L 之间，SO₄²⁻含量在 300~1200mg/L 之间，普遍含有 SRB，有部分油井含有硫。③从分析来看，垢主要是碳酸钙垢和铁腐蚀产物，其中铁的腐蚀产物中二硫化亚铁为主要成分，还包含铁与碳酸根结合成的碳酸亚铁。④从结垢分析和预测来看，结垢主要发生在井底温度高，压力变化大的部位。⑤从室内对不同的井况选择的三种方法来看，都能有效防止结垢的发生。⑥缓蚀阻垢一体剂在赤岸油田进行了应用，能有效起到防腐蚀防垢的作用。

参考文献

[1] 李海东.油井腐蚀结垢原因及防治措施研究[J].中国化工贸易, 2019,30(11).
[2] 吴泽美.华北油田油井腐蚀结垢原因分析与治理方法优选[J].长江大学学报,2016,22(13).
[3] 马锋.大情字井油田油井腐蚀结垢治理技术研究[C]//全国油气田开发技术大会,中国石油学会,2011.
[4] 崔延杰.赵州桥油田油井腐蚀结垢治理实践[J].长江大学学报, 2014(3).

Effect of Diluent Content on the Performance of Circular Fiber Ring

Shuicheng Xiong Yanhong Ding* Xu Xiong

School of Materials and Advanced Manufacturing, Hunan University of Technology, Zhuzhou, Hunan, 412000, China

Abstract

PUA (polyurethane acrylate) is synthesized by hexamethylisocyanate (HDI) and molecular intermediate chain extender as the main raw materials, with methacrylate as the active diluent, and 1-hydroxy cyclohexyl methyl ketone (184), 4265 as the photoinitiator to prepare optical fiber ring. The effect of diluent content on the properties of the ring wound adhesive was investigated, and the preparation parameters of the ring wound adhesive were optimized to improve the properties of the fiber ring. The results show that when the content of diluent is too high, the colloid hardness is too large, it is easy to crack after aging, and when the content is too low, the bonding strength is not enough, and it is easy to fall off. When the diluent is 51.6%, the ring has good comprehensive performance, its solidified hardness is 75, the tensile strength is 30.53MPa, the hardness is 75, and the vitrification temperature is 172.6°C. At this time, the zero drift of the gyro is 0.0177°/h.

Keywords

diluent; annular ring; optical fiber ring; temperature characteristics

稀释剂含量对光纤环用绕环胶性能的影响

熊水城 丁燕鸿* 熊旭

湖南工业大学材料与先进制造学院, 中国·湖南 株洲 412000

摘 要

采用六亚甲基二异氰酸酯 (HDI)、分子中间扩链剂等为主要原料合成的 PUA (聚氨酯丙烯酸酯), 以此为基体, 以甲基丙烯酸异冰片酯为活性稀释剂, 再以 1-羟基环己基苯基甲酮 (184)、4265 等为光引发剂, 制备光纤环用绕环胶。通过探讨稀释剂含量对绕环胶性能的影响, 优化绕环胶制备工艺参数, 提高光纤环性能。研究结果表明: 稀释剂含量过高时, 胶体硬度过大, 老化后易开裂, 含量过低时粘接强度不够, 易脱落。当稀释剂为 51.6% 时, 绕环胶具有较好的综合性能, 其固化后的硬度为 75、抗拉强度为 30.53MPa、硬度为 75, 玻璃化温度为 172.6°C, 此时陀螺的零漂为 0.0177°/h。

关键词

稀释剂; 绕环胶; 光纤环; 温度特性

1 引言

光纤陀螺仪是一种惯性导航的光纤传感器, 广泛应用于航天航空、航海及民用等领域^[1,2]。作为陀螺仪核心部件的光纤环, 是利用绕环胶将光纤绕制固化而成的, 其热性能和力学性能直接影响光纤陀螺仪的温度性能^[3]。由于陀螺仪的工作环境一般处于较为严苛的环境, 如高温、高紫外、高湿度等, 绕环胶会很容易出现变塑失效等情况^[4-6]。因此, 为了提高光纤环温度特性, 本研究对绕环胶制备工艺进行优化, 从稀释剂含量对光纤环绕环胶的性能影响出发^[7], 期望

找到最适合光纤环绕环胶用的稀释剂含量, 这对光纤环填充胶的选择有一定的实际指导意义。

2 绕环胶制备

采用聚氨酯丙烯酸酯聚合物为基体, 加入不同含量 (分别为 51.6%、54.6% 和 48.6%) 的甲基丙烯酸异冰片酯活性稀释剂, 在常温状态下搅拌均匀, 再引入一定比例的光引发剂 184 和 4265 的混合物, 再次通过搅拌器搅拌均匀, 将混合的树脂在真空干燥机中静置脱泡 24h 后, 分别制备三种试样, 分别命名为 PUA-AB (51.6%)、PUA-A1 (54.6%) 和 PUA-A2 (48.6%)。具体制备流程如图 1 所示。

3 结果与讨论

3.1 热分析

采用热重分析仪和差示扫描量热分析仪对试样进行测试, 全程通氮气气氛, 升温速率为 10°C/min, 升温范围为

【作者简介】熊水城 (2001-), 男, 中国湖南娄底人, 在读硕士, 从事材料与化工研究。

【通讯作者】丁燕鸿 (1968-), 女, 中国湖南攸县人, 博士, 高级工程师, 从事新能源材料研究。

23℃~500℃。通过对这三组固化后的试样的 TG-DTG 曲线、DSC 曲线进行分析,对不同配比的固化胶进行研究,试样 PUA-AB、PUA-A1、PUA-A2 的 TG-DTG、DSC 曲线见图 2,相关数据见表 1,定义 Tmax1、Tmax2 分别作为两段平台中热失重速率最快时对应的温度,T5% 为失重 5% 时对应的温度(初始热分解温度),T_g 为玻璃化温度。

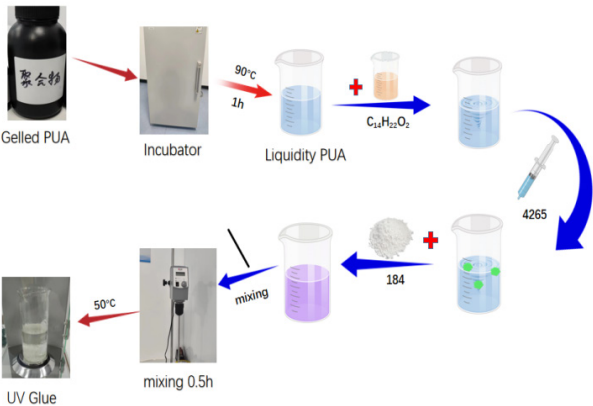
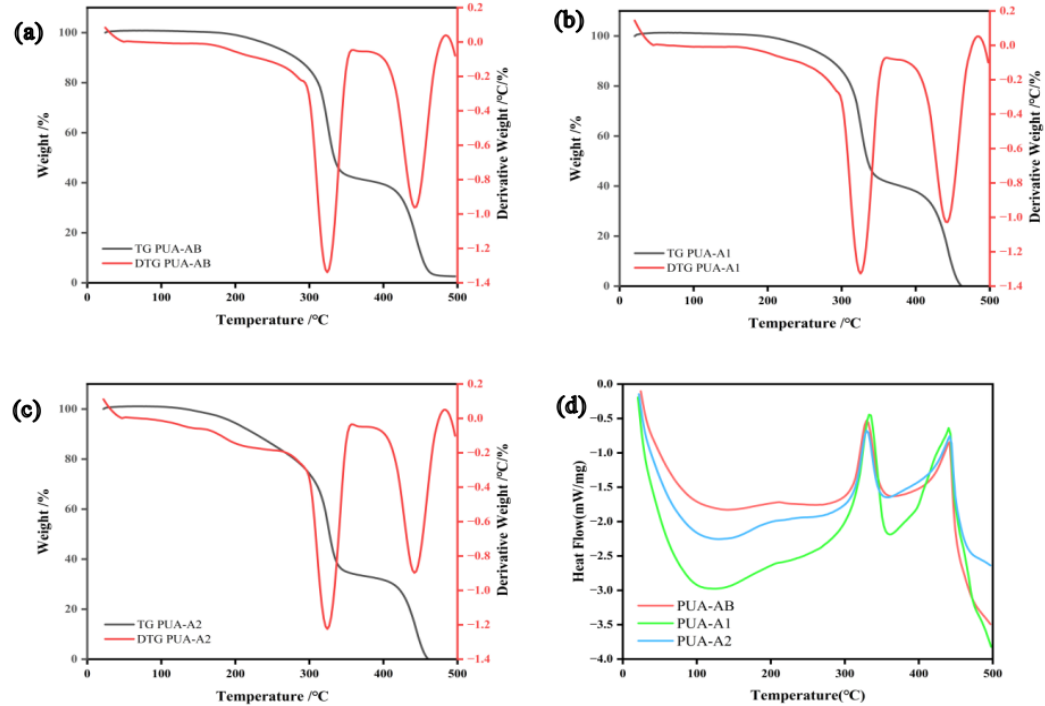


图 1 光纤环围绕环胶制备流程示意图

每条 TG 曲线均有两个失重台阶,每条 DTG 曲线均有两个失重峰,这是因为聚氨酯丙烯酸酯(PUA)的热分解过程主要分为两个阶段、三种热解方式:①PUA 主链硬段热解、断裂为二异氰酸酯和二元醇;②二元醇和其中一部分二异氰酸酯分解为胺类、烯烃以及 CO₂;③另外一部分二异氰酸酯经一系列反应热解成异氰酸酯。由 TG 曲线和表 1 可以看出,PUA-AB 在 247.21℃ 时重量损失为 5wt%,PUA-A1 和 PUA-A2 失重 5wt% 所对应的温度分别为 256.41℃ 和 195.74℃,PUA-AB 和 PUA-A1 失重 5wt% 所对应的温度相差不大。PUA-A1 和 PUA-A2 在 500℃ 时的残炭量为负数,说明在 500℃ 之前它们已经完全热解,而 PUA-AB 还剩 2.55% 没有热解。可见 PUA-AB 的热稳定性优于 PUA-A1 和 PUA-A2。PUA-A1 的玻璃化转变温度相比试样 PUA-AB 高了 2.6℃,说明在更高温度下 PUA-A1 的模量才会发生剧烈变化。PUA-A2 的初始热分解温度为 195.74℃,说明在很早前 PUA-A2 已经开始分解。综合考虑 Tmax1、Tmax2、T5%、500℃ 残炭量、玻璃化转变温度这五个因素,以试样 PUA-AB 的稀释剂含量作为合适配比所制得的固化胶更具优势。



(a) PUA-AB 的 TG-DTG 曲线; (b) PUA-A1 的 TG-DTG 曲线; (c) PUA-A2 的 TG-DTG 曲线; (d) PUA-AB、PUA-A1、PUA-A2 的 DSC 曲线

图 2 PUA-AB、PUA-A1、PUA-A2 的 TG-DTG、DSC 曲线

表 1 以稀释剂作为变量的不同配比的固化胶的热分析参数

试样	Tmax1 (℃)	Tmax2 (℃)	T5% (℃)	500℃残炭量 (%)	T _g (℃)
PUA-AB	324.25	444.25	247.21	2.55	172.6
PUA-A1	325.37	442.87	256.41	-1.71	175.2
PUA-A2	324.30	441.80	195.74	-1.70	167.2

3.2 力学性能测试分析

采用万能材料试验机（参照 GB/T 7124—2008），对三种试样进行拉伸测试，拉伸速率为 2.5mm/min。添加不同含量稀释剂，试样粘接强度和拉伸率的变化情况，如图 2 所示。活性稀释剂含量的不同，粘接强度和拉伸率存在着很大的差异。如图 3（a）所示，随着甲基丙烯酸异冰片酯含量的变化，试样 PUA-AB、PUA-A1 和 PUA-A2 的粘接强度依次为 30.53MPa、29.84MPa、31.15MPa，断裂伸长率依次为 0.75、0.69、0.8。当稀释剂含量增加时，粘接强度下降，断裂伸长率也下降，反之，粘接强度和断裂伸长率也上升，这是由于甲基丙烯酸异冰片酯的引入，导致双键含量变高，整体的附着力下降，柔韧性下降^[8]。采用邵氏硬度计 D 测量固化后绕环胶硬度（参考国家标准 GB/T531-99），结果如图 3（b）所示。试样 PUA-AB、PUA-A1 和 PUA-A2 的硬度分别为 75.0、76.8、73.7。随着稀释含量的增加，硬度增加，稀释剂含量减少，硬度减小。这是由于稀释剂在光固化反应中，引入活性基团，增加了反应活性，稀释剂含量增多时，整体交联密度增加，固化速度加快，收缩应力也会变大，整体硬度上升^[9]。

3.3 黏度测试分析

采用粘度温控一体机测试绕环胶粘度，测试时温度 23℃，使用 27 号转子，转速 250RPM。绕环胶试样 PUA-

AB、PUA-A1 和 PUA-A2 的黏度值依次为：429cp、418cp 和 440cp。预聚体 PUA 的黏度一般都较高，活性稀释剂的增加会对绕环胶的黏度起到一个很好的稀释效果，稀释剂含量增加时黏度降低，而稀释剂含量降低时黏度增高。由于光纤环的绕环蘸胶需求，粘度过高会导致过胶时胶层过厚，影响光纤的应力释放，进而影响陀螺的温度和振动性能。粘度过低，会导致胶体流动性过大，光纤挂不上胶，从而无法进行固化。因此，本实验选择试样 PUA-AB，稀释剂含量为 51.6% 时，工艺参数比较合理。

3.4 老化试验分析

为了考察自制胶的抗老化性，分别采用绕环胶试样 PUA-AB、PUA-A1 和 PUA-A2，将光纤制作成三种光纤环，放进烘箱高低温循环老化一周（-40℃~85℃），观察开裂情况。结果表明，用 PUA-AB、PUA-A2 试样绕出的环并没有出现老化后的开裂，见图 4（a）图和（c）图，用 PUA-A1 绕出的环出现了裂纹，如图 4（b）图所示。这是因为高温情况下，分子活性提高，反应体系加快，会使大分子出现裂解和链结的断裂，进而导致胶体表面变塑性及失效^[10]。PUA-A1 绕环胶稀释剂含量偏高，反应活性高，绕环胶固化后硬度大，柔韧性不好，收缩应力大，偏脆，老化失效后应力不均匀，从而出现开裂现象，开裂结果如图 4 所示。

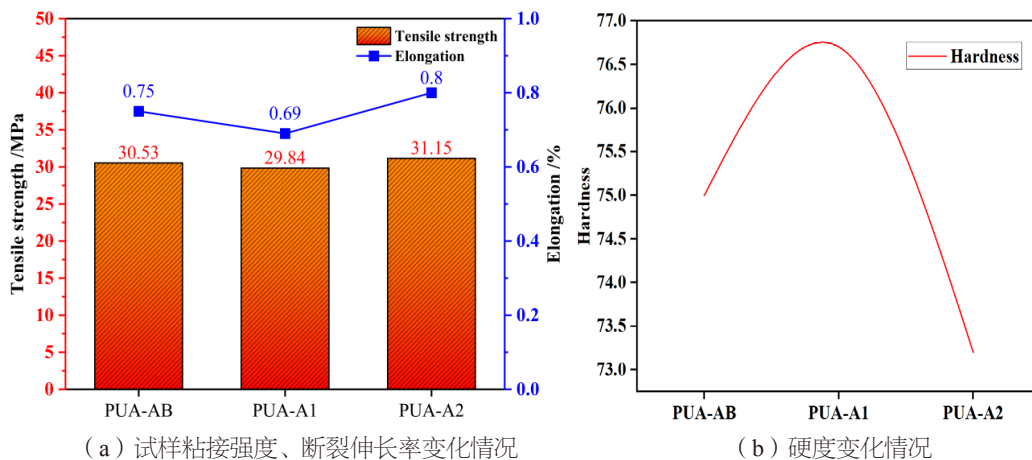


图 3 试样结果

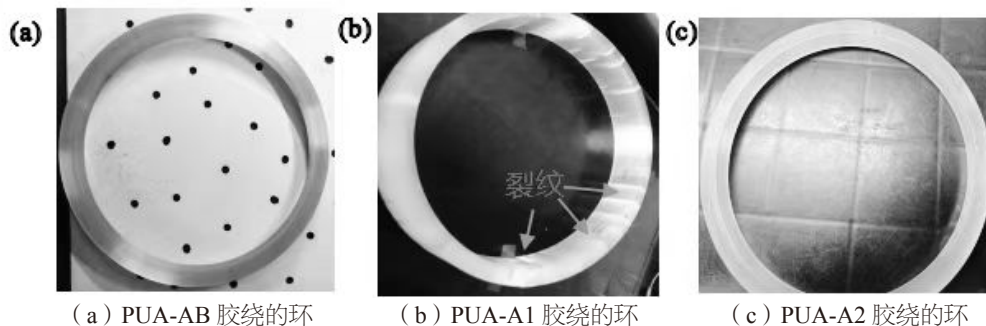


图 4 开裂结果

3.5 光纤环全温性能测试

光纤环全温性能测试：将配置好的胶与光纤绕制成环，将其组成测试系统，并将其放入温箱中根据测试方法进行全温性能测试，温度范围在（-40℃~60℃），观察环在高低温下的输出表现，重点关注其零偏稳定性（零漂）、极差，这两项数据可以看出陀螺在环境温度变化下的表现。零偏稳定性指输入角速度为零时，输出量围绕零偏均值的离散程度，极差指的是零偏最大值和最小值的差值^[11]。

表 2 为用以上三款绕环胶试样绕成环而组成测试系统所得到的常温零偏、零漂和极差三种参数。可以看出，三种胶的常温零偏值都比较低，最低为 0.200876°/h，PUA-AB 试样绕出的环较 PUA-A1、PUA-A2 试样绕出的环而言，零漂和极差都更低，表现更好。综合来看，以 PUA-AB 试样组成的系统，陀螺的性能更过关。

表 2 光纤环测试结果表

编号	常温零偏	零漂	极差
PUA-AB 环	0.200876°/h	0.0177°/h	0.0379°/h
PUA-A1 环	0.250338°/h	0.0214°/h	0.0725°/h
PUA-A2 环	0.22544°/h	0.0185°/h	0.0602°/h

4 结论

通过分析稀释剂含量对绕环胶的性能影响，可以得出，当稀释剂含量增多，反应体系的双键含量就会提升，整个反应过程就会加快，随之而来的就是固化过程加快，交联密度

增大，固化后硬度增大，整体造成的收缩应力也增大，胶体的柔韧性下降，附着力会变小。综合考虑热力学性质、力学性能、硬度、黏度、老化情况，再结合陀螺的全温性能测试，得到稀释剂含量为 51.6% 所制得的绕环胶综合性能最佳。

参考文献

[1] 贾璇.北斗+民航迈出关键一步全球航空公司今后可用北斗导航[J].中国经济周刊,2023(24):82-83.

[2] 王巍.新型惯性技术发展及在宇航领域的应用[J].红外与激光工程,2016,45(3):11-16.

[3] 黄冬.高精度光纤陀螺仪的研究[D].西安:西安石油大学,2019.

[4] 李鹏.光纤陀螺性能改善技术研究[J].科技风,2018(23):252+254.

[5] 文伟.环氧胶粘剂大气环境老化行为研究[D].北京:机械科学研究总院,2008.

[6] 曹敏,寿芳,马超.光纤陀螺高可靠、长寿命保证技术探讨[J].装备环境工程,2013,10(4):76-79+113.

[7] 何明俊,胡孝勇,柯勇.UV固化聚氨酯丙烯酸酯涂料的研究进展[J].中国胶粘剂,2017,26(10):49-53.

[8] 徐晓维,徐徐,魏柏松,等.甲基丙烯酸异冰片酯的合成及性能研究[J].南京林业大学学报(自然科学版),2013,37(4):133-138.

[9] 宋彩雨,王磊,孙明明,等.活性稀释剂对紫外光固化树脂性能的影响[J].化学与黏合,2017,39(2):94-97+111.

[10] 文伟.环氧胶粘剂大气环境老化行为研究[D].北京:机械科学研究总院,2008.

[11] 刘涵.光纤陀螺集成化关键技术研究[D].北京:中国运载火箭技术研究院,2023.

Preparation and Performance Evaluation of High-performance Carbon Dioxide Curing Foam Concrete

Xiu Li^{1,2} Xinmei Yang¹ Cairui Fan¹ Teng Wang^{1,2}

1. School of Geography, Science and Planning, Jining Normal University, Ulanqab, Inner Mongolia, 012000, China

2. Inner Mongolia Research Center for Equalization of Urban and Rural Public Services, Jining Normal University, Ulanqab, Inner Mongolia, 012000, China

Abstract

This study focuses on the preparation and performance evaluation of high-performance CO₂ curing foam concrete. The paper first introduces the basic principle of foam concrete and carbon dioxide curing mechanism, lay the theoretical basis for subsequent experimental design and data analysis, then describes the preparation process of high performance carbon dioxide curing foam concrete, including the selection of raw materials, preparation process and curing conditions, finally discusses the physical, mechanical and environmental durability test in the performance evaluation of carbon dioxide curing foam concrete application.

Keywords

high performance; carbon dioxide curing; foam concrete; performance evaluation

高性能二氧化碳养护泡沫混凝土的制备与性能评估

李秀^{1,2} 杨昕美¹ 樊才睿¹ 王腾^{1,2}

1. 集宁师范学院地理科学与规划学院, 中国·内蒙古 乌兰察布 012000

2. 集宁师范学院内蒙古城乡公共服务均等化研究中心, 中国·内蒙古 乌兰察布 012000

摘 要

本研究聚焦于高性能二氧化碳养护泡沫混凝土的制备与性能评估。论文首先介绍了泡沫混凝土的基本原理和二氧化碳养护机制, 为后续的实验设计和数据分析奠定理论基础, 随后详细描述了高性能二氧化碳养护泡沫混凝土的制备工艺, 包括原材料选择、制备流程和养护条件的选择, 最后探讨了物理、力学和环境耐久性测试在二氧化碳养护泡沫混凝土性能评估上的应用。

关键词

高性能; 二氧化碳养护; 泡沫混凝土; 性能评估

1 引言

作为一种轻质、隔热、隔音且环保的建筑材料, 泡沫混凝土在现代建筑和工程领域得到了广泛的应用, 其独特的多孔结构不仅显著降低了材料的密度, 还赋予了其优良的热工性能和良好的施工便利性。然而传统的泡沫混凝土制备和养护方法存在一些局限性, 如养护周期长、强度低、性能不稳定等问题, 一定程度限制了泡沫混凝土在高性能建筑领域

的进一步应用, 在“双碳”目标背景下, 利用二氧化碳养护技术对轻质泡沫混凝土进行养护, 可实现二氧化碳的有效封存, 同时探索轻质泡沫混凝土性能的提升。

2 泡沫混凝土与二氧化碳养护

2.1 泡沫混凝土

泡沫混凝土是一种轻质多孔材料, 其基本原理是通过引入大量微小气泡形成具有特定孔隙结构的混凝土基体, 这些气泡的存在能够显著降低材料的密度, 同时赋予了泡沫混凝土优异的隔热、隔音和减震性能。从组分上看, 泡沫混凝土由水泥浆体、骨料、水和泡沫组成, 其中泡沫占据了大部分体积^[1]。孔隙的大小和分布对泡沫混凝土的性能有重要影响, 例如, 均匀分布的小孔隙有助于提高材料的隔热性能而大孔隙则可能导致强度下降, 所以优化孔隙结构是提高泡沫混凝土综合性能的关键。

【基金项目】集宁师范学院科学研究项目“固碳节能轻质混凝土的二氧化碳养护研究”(项目编号: jsky202238); 大学生创新创业训练计划项目“基于智慧赋能的零碳校园建设路径研究”(项目编号: 202411427005)。

【作者简介】李秀(1989-), 男, 中国内蒙古呼和浩特人, 硕士, 讲师, 从事建筑节能研究。

2.2 二氧化碳养护机制

二氧化碳养护技术是一种新兴的混凝土养护方法，它利用二氧化碳与水泥浆体中的氢氧化钙发生碳化反应进而生成碳酸钙沉淀，整个过程不仅加速了混凝土的硬化速度，还提高了材料的密实度和强度。具体而言，当二氧化碳气体通入泡沫混凝土中时会迅速与水泥浆体中的氢氧化钙反应，生成碳酸钙和水。研究表明，二氧化碳养护不仅能够显著缩短养护时间，降低能耗，还能改善泡沫混凝土的微观结构。与传统标准养护相比，二氧化碳养护的泡沫混凝土将表现出更高的早期强度和更稳定的孔隙结构，这为泡沫混凝土在快速施工和高性能建筑领域的应用提供了新的可能性。

2.3 泡沫稳定性和孔隙结构调控

泡沫稳定性和孔隙结构是影响泡沫混凝土性能的两个关键因素。泡沫稳定性是指泡沫在搅拌和浇筑过程中保持其形态的能力而孔隙结构则决定了材料的密度、强度和热工性能。为了改善泡沫稳定性，通常需要选择合适的泡沫剂种类和浓度，常见的泡沫剂包括表面活性剂、蛋白质类和合成聚合物类等，这些泡沫剂通过降低液体表面张力促进气泡的形成和稳定。不仅如此，泡沫剂的浓度也会影响泡沫的稳定性，过低的浓度会导致泡沫容易破裂，而过高的浓度则会使泡沫过于稠密，不利于混凝土的流动性和施工性。因此，为有效调控泡沫混凝土的孔隙结构，提高其综合性能，在实际应用过程中需要通过实验优化泡沫剂的种类和浓度，本研究使用阴离子表面活性剂进行发泡。

3 高性能二氧化碳养护泡沫混凝土的制备

3.1 原材料选择

高性能二氧化碳养护泡沫混凝土的制备首先需要选择合适的原材料，主要原材料包括水泥、骨料、水、泡沫剂 and 外加剂。水泥选用普通硅酸盐水泥（P.O 42.5），具有良好的早期强度和后期稳定性，适用于泡沫混凝土的制备，水泥的细度和活性对混凝土的性能有显著影响，因此需选择标准细度的水泥以确保良好的分散性和流动性^[2]。骨料选用河砂，粒径范围为0.1~2mm，河砂具有较低的吸水率和良好的级配，能够提高泡沫混凝土的密实度和强度。需要注意的是，细骨料的含量和粒径分布都会影响泡沫混凝土的孔隙结构，所以在使用时要通过试验确定最佳比例。使用水确保无有害杂质，避免影响混凝土的性能，水灰比是影响泡沫混凝土密度和强度的关键参数，控制在0.4~0.6。泡沫剂选用自制复配阴离子表面活性剂，具有良好的发泡能力和泡沫稳定性。为了进一步改善泡沫混凝土的性能，制备时添加适量的减水剂和矿物掺合料。

3.2 制备工艺

高性能二氧化碳养护泡沫混凝土的制备工艺包括混合、发泡和养护三个主要步骤。首先将水泥、细骨料和水按预定比例加入搅拌机中，充分搅拌均匀，搅拌时间为2~3min，确保所有材料充分混合。在此过程中可以适当调整水灰比以

达到所需的流动性和稠度。随后将预先配置好的泡沫剂溶液加入发泡机中，通过高速搅拌产生大量微小气泡，泡沫剂溶液的浓度和发泡时间对泡沫的质量有重要影响，通常发泡时间设置为1~2min，产生的泡沫直径应控制在1~3mm。将发泡后的泡沫均匀加入已搅拌好的水泥浆体中并继续搅拌1~2min，使泡沫均匀分布在整個混凝土基体中。最后，将制备好的泡沫混凝土浆体倒入预先准备的模具中，注意避免气泡逸出，浇筑过程中应保持均匀的速度以防止浆体分层。浇筑完成后用刮刀平整表面，确保混凝土表面光滑平整。完成上述所有工艺后就开始进行二氧化碳养护并得到最终的泡沫混凝土。图1展示了泡沫混凝土的基本制备工艺。

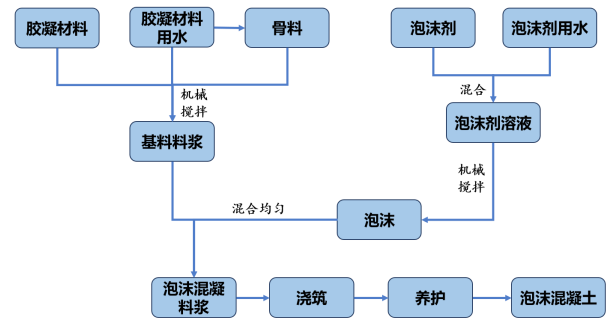


图1 泡沫混凝土的基本制备工艺

3.3 二氧化碳养护技术

二氧化碳养护技术是本研究的核心内容之一，它利用二氧化碳与水泥浆体中的氢氧化钙发生碳化反应，生成碳酸钙沉淀，从而加速混凝土的硬化过程并提高其性能，具体操作如下。首先将浇筑好的泡沫混凝土试件放入特制的二氧化碳养护箱中，养护箱内设有温控和压控装置，用于精确调节温度和压力。开启二氧化碳气源，通过流量计控制气体流量以确保气体均匀分布在整個养护箱内，养护过程中需定期记录温度和压力变化。养护结束后取出试件，进行后续的性能测试。养护条件的选择需考虑温度、压力和养护时间等因素，温度和压力对二氧化碳的溶解度有显著影响，能够影响碳化反应的速度和程度。通常，养护温度控制在20℃~30℃，压力控制在0.1~1.0MPa，养护时间通常为2~4h，目的是确保充分的碳化反应。

4 性能评估方法

4.1 物理性能测试

在评价高性能二氧化碳养护泡沫混凝土的物理性能时，主要关注的是密度和吸水率等关键指标。作为材料轻重的重要标志，密度直接影响到材料的应用范围和结构设计，对于泡沫混凝土而言，密度不仅关系到其隔热隔音效果，还影响着材料的强度和耐久性。密度测试通过称量干燥状态下的试件质量和完全浸入水中的质量，计算试件的真实体积，最终获得密度值^[3]。吸水率是衡量材料防水性能的重要参数，特别针对长期暴露于潮湿环境中的建筑材料。吸水率的测定方

法是：将试样在饱和面干状态下称重，然后将其完全浸入水中一段时间，取出后再次称重，通过计算两次质量之差来确定吸水率。高吸水率可能导致材料内部结构损伤并降低使用寿命，因此，合理控制吸水率，对于提升泡沫混凝土的耐久性和适用性具有重要意义。

4.2 力学性能测试

力学性能主要包括抗压强度和弹性模量两个方面，抗压强度直接反映了材料抵抗外力破坏的能力，弹性模量则用于描述材料在外力作用下产生形变的程度。抗压强度测试就是将标准尺寸的试块置于压力机中施加均匀载荷直至破坏，然后记录最大破坏载荷。弹性模量的测量则需借助于应力-应变曲线，在一定范围内加载卸载，通过计算斜率来确定。有研究表明通过改变发泡剂种类和添加量成功制备了一系列不同密度等级的泡沫混凝土样品，并对其进行了系统的力学性能测试。结果显示，样品的抗压强度随着密度的增加呈现出先增后减的趋势，最佳密度区间内的材料表现出最优的综合力学性能。这表明通过优化泡沫混凝土的孔隙结构，可以在保证轻质的同时提高其力学性能。

4.3 环境耐久性测试

为了确保泡沫混凝土在各种恶劣环境下仍能保持良好的使用性能，环境耐久性测试不可或缺，这类测试主要包括耐酸碱性测试、冻融循环测试等内容。耐酸碱性测试旨在考察材料在酸碱溶液中浸泡后的质量损失、外观变化等情况，具体操作是将样品分别浸入特定浓度的硫酸和氢氧化钠溶液中，一定时间后取出并清洗干燥，然后记录样品的质量变化率及外观缺陷。冻融循环测试则是模拟自然界的冻融过程，检测材料在反复冻融作用下的物理性质变化，特别是强度下降和表面剥落等问题，测试方法是将样品在低温环境中冷冻一段时间，然后在常温或高温环境中融化，重复多个循环周期后评估材料的耐久性。

5 实验与讨论

5.1 实验设计

为评估二氧化碳养护技术对泡沫混凝土性能的影响，验证该养护技术在提高泡沫混凝土相关性能方面的有效性和可行性，笔者以实验的方式对比了传统标准养护和二氧化碳养护条件下泡沫混凝土的相关性能，实验设计控制泡沫混凝土干密度 500kg/m³ 左右，硅灰替代掺量 3%，二氧化碳养护压力分别 0.2MPa、0.5MPa，养护时间 4h，养护到龄期进行性能测试，本实验是阶段性验证研究，只针对样品进行干密度、吸水率、7d 抗压强度进行测试。

5.2 结果和分析

实验结果包括干密度、吸水率、抗压强度性能指标。

具体数据如表 1 所示。

表 1 泡沫混凝土性能测试结果

养护方法	干密度 (kg/m ³)	吸水率 (%)	7d 抗压强度 (MPa)
传统标准养护	522	13.5	1.3
CO ₂ 养护 (0.2MPa)	514	10.6	2.1
CO ₂ 养护 (0.5MPa)	503	9.8	2.4

密度：从表 1 可以看出，二氧化碳养护与传统的标准养护对泡沫混凝土干密度未产生明显影响，随着养护压力的提升，呈略微下降趋势，但这样的变化趋势不足以产生显著影响，泡沫混凝土因泡沫的相对脆弱，制备与养护中泡沫孔隙结构的损失或完整均会使干密度有一定的变化。因此，本实验中设计干密度 500kg/m³，三种养护条件下，干密度均未发生较大改变。

吸水率：二氧化碳养护条件下的泡沫混凝土吸水率显著低于传统水养护条件下的吸水率。0.2MPa 和 0.5MPa 条件下的吸水率分别为 10.6% 和 9.8%，而传统水养护条件下的吸水率为 13.5%，这表明二氧化碳养护可以有效形成矿化产物，使结构密实，改善材料的防水性能，减少水分渗透并延长使用寿命。

抗压强度：二氧化碳养护条件下的泡沫混凝土抗压强度显著高于传统水养护条件下的抗压强度，说明二氧化碳养护能够显著提高材料的力学性能，尤其在 7d 龄期抗压强度，0.2MPa 和 0.5 MPa 条件下的 7d 抗压强度分别为 2.1MPa 和 2.4MPa，几乎已达到全龄期的抗压强度，传统水养护条件下的抗压强度仅为 1.3MPa。

6 结语

论文系统地探讨了高性能二氧化碳养护泡沫混凝土的制备与性能评估，揭示了二氧化碳养护技术在缩短养护时间、固碳封存及改善泡沫混凝土物理、力学和环境耐久性方面的显著优势。未来的研究可进一步探索不同二氧化碳压力和温度条件对泡沫混凝土性能的影响，或者开发更多功能性的添加剂来全面提升泡沫混凝土的性能，满足更多复杂工程需求。

参考文献

[1] 田峰,范睿.浅析泡沫混凝土的特性及在工程中的应用[J].企业技术开发:中旬刊,2012(6):2.
[2] 孙一夫.二氧化碳养护固废轻质混凝土配方优化及工业化应用[D].杭州:浙江大学,2021.
[3] 梁淑哲.表面处理与二氧化碳养护对泡沫混凝土性能的影响[D].重庆:重庆大学,2021.