

度通常用误差的大小来衡量,包括位置误差、速度误差和加速度误差等多个维度。评价运动精度的方法多种多样,其中最常见的是通过实验测试与数值模拟相结合的方式,基于误差模型进行误差分析与优化。此外,现代技术还采用传感器与自动控制技术实时监测运动精度,并通过反馈调节机制进行误差补偿。运动精度的评价还需考虑误差来源的不同,如机械部件的磨损、柔性变形等因素,进行综合评估。

3 柔性机构的可靠性分析

3.1 可靠性理论概述

可靠性理论是研究系统在规定条件下,能够完成预定功能的概率与规律的学科。可靠性通常用来衡量一个系统在使用过程中无故障工作的能力。在柔性机构的应用中,可靠性不仅关乎机构本身的构造质量,还包括其在长期使用过程中的维护性、稳定性和抗干扰能力。可靠性分析主要通过概率统计方法,计算机构发生故障的概率、寿命及其变化趋势。常见的可靠性评价指标包括平均无故障时间、可靠性函数、故障率等。通过这些分析,能够为柔性机构的设计、选材、制造和维护提供指导,确保其在实际工作中达到高可靠性要求^[2]。

3.2 柔性机构可靠性分析模型

柔性机构的可靠性分析模型主要通过建立数学模型来预测机构在工作过程中可能发生的故障和损失。常见的模型包括蒙特卡罗模拟法、故障树分析法(FTA)和事件树分析法(ETA)。这些模型通过分析结构的各个部件的失效模式和概率,进而计算整个系统的可靠性。蒙特卡罗模拟法通过随机抽样和多次试验来模拟系统故障的发生,而故障树分析法则通过层次结构分析各部件故障的相互关系。柔性机构的可靠性分析需要考虑材料的疲劳寿命、机械部件的磨损、外部环境变化等因素,这些都可能影响最终的可靠性评价结果。

3.3 影响柔性机构可靠性的主要因素

柔性机构的可靠性受多种因素影响,包括设计、材料、制造工艺、外部载荷等。设计上的缺陷如不合理的结构选择或负荷分配可能导致机构的疲劳破坏,降低其可靠性。材料的选择和质量是影响柔性机构可靠性的关键因素,材料的疲劳极限、耐磨性和耐腐蚀性直接决定了机构的使用寿命。制造工艺对机构的加工精度和装配质量有着重要影响,低精度的加工和不良的装配质量往往导致机构发生意外故障。外部载荷、工作环境的变化,尤其是温度、湿度等因素的影响,也会引起机构性能的退化或故障发生,从而影响其整体可靠性。

4 柔性机构优化设计方法

4.1 优化设计的基本理论与方法

优化设计是通过系统的分析和计算,寻找满足特定约束条件下的最优设计方案。其基本目标是使得设计结果在性能、成本、可操作性等方面达到最佳平衡。优化设计通常基

于数学模型和计算方法,采用数值优化算法对设计变量进行求解,以优化设计目标。常见的优化方法包括梯度法、遗传算法、模拟退火法等。梯度法通过沿着目标函数的最速下降方向进行搜索,以找到局部最优解;而遗传算法则模拟自然选择过程,通过交叉和变异操作找到全局最优解。模拟退火法模仿物理退火过程,采用概率跳跃的方式在解空间中进行搜索,避免陷入局部最优。

4.2 柔性机构运动精度优化设计方法

柔性机构的运动精度优化设计方法旨在通过合理设计机构的结构和参数,减少运动过程中因变形、摩擦、热膨胀等因素引起的误差。优化设计方法通常基于机构的运动学和力学模型,通过数值计算和实验验证相结合的方式,调整机构的几何形状、材料选型和载荷分配等,以实现精度的最大化。在实际设计中,利用优化算法调整机构的关键参数,如驱动方式、连接形式、柔性元件的形状和位置等,可以有效降低运动中的变形量,从而提高运动精度。常用的优化方法包括遗传算法、粒子群优化算法和模拟退火法,这些方法能够通过大规模设计空间的搜索,找到最优的设计方案。为了实现精度优化,设计过程中还需考虑精度误差的来源与传播,如机构的变形、接触力、摩擦等因素的影响,利用敏感度分析确定关键影响因素并加以优化,从而提高柔性机构的整体精度。

4.3 柔性机构可靠性优化设计方法

柔性机构的可靠性优化设计方法通过分析机构各部件的失效模式和失效概率,优化设计参数以提高系统的可靠性。为了实现这一目标,设计者需要基于可靠性理论构建可靠性模型,利用概率分析、故障树分析等方法对系统进行定量分析。优化设计过程中,设计者通常通过调整材料的选择、部件的形状与尺寸以及工作环境的适配等因素,降低机构在长期使用中的故障率。常见的优化方法包括基于可靠性约束的优化方法、蒙特卡罗模拟法和遗传算法等。这些方法能够在考虑可靠性约束的前提下,优化设计参数,确保柔性机构在实际应用中的高可靠性。通过结合多种优化方法,能够有效提高柔性机构的使用寿命和稳定性,确保其在各种复杂环境下的持续可靠性,详情见图1。

5 柔性机构运动精度与可靠性优化分析

5.1 运动精度与可靠性之间的关系

柔性机构的运动精度与其可靠性之间存在密切的关系。提高机构的运动精度通常要求对设计进行精密调整,如材料的选择、结构的优化等,这在一定程度上可能提高其可靠性。然而,精度的提升并不总是与可靠性直接成正比。例如,一些高精度设计往往对外部环境变化更加敏感,容易导致系统发生故障。通过实验数据可以看出,在某些柔性机构中,随着运动精度的提高,其故障率呈现上升趋势。具体来说,某型号柔性机器人在精度要求为0.01mm时,可靠性为95%;

而当精度要求降低至 0.05mm 时，其可靠性可提高至 98%。这表明在某些设计中，过于追求精度可能使机构更加复杂，从而导致可靠性降低。相反，适当降低精度要求，可以通过

简化设计、降低部件应力等措施来提高可靠性。因此，运动精度和可靠性的优化需要平衡，过度关注单一指标可能对另一个指标产生负面影响^[3]。

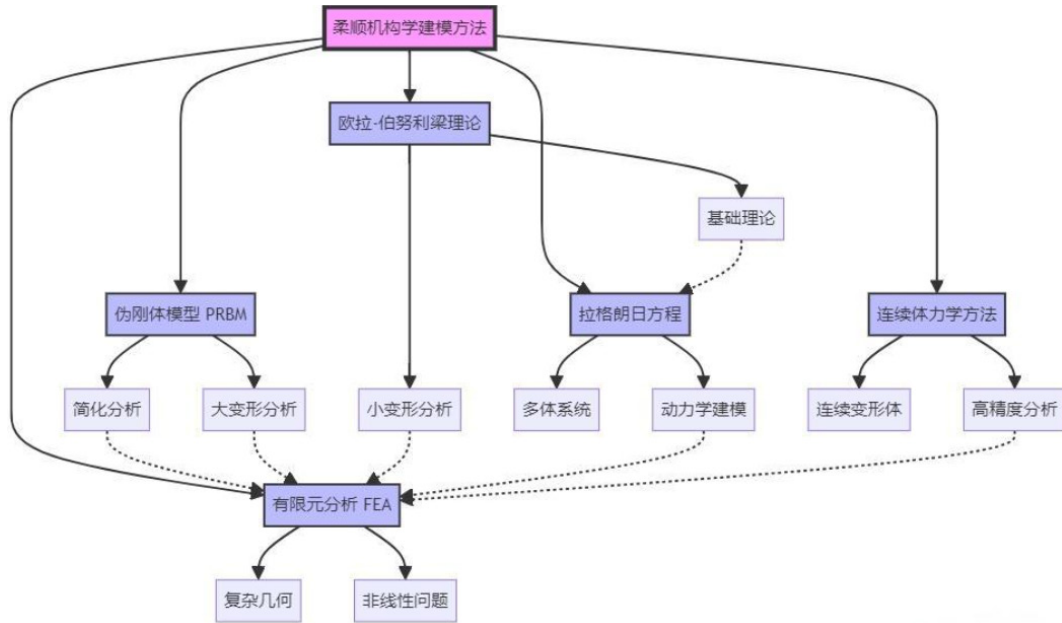


图 1 柔性机构学构建建模方法

5.2 运动精度与可靠性联合优化模型

运动精度与可靠性联合优化模型主要考虑如何在设计过程中同时优化这两个指标。该模型的核心目标是通过合理的参数调整，使得柔性机构在保证足够运动精度的基础上，最大化其可靠性。根据实际应用中的需求，运动精度和可靠性通常需要设定具体的约束条件。例如，某柔性机构在精度要求为 0.02mm 的情况下，若进行联合优化，计算结果表明，可以通过调整结构参数和材料选择，使得系统的可靠性由 90% 提升至 95%。在此模型中，设计目标包括最小化运动误差和故障概率，约束条件则包括精度要求、负载限制、材料强度等。通过遗传算法、粒子群优化等方法，可以在广泛的设计空间中进行搜索，找到最优解。联合优化不仅能提升系统的精度，还能提高在长期使用中的稳定性，特别是在复杂环境下的应用^[4]。

5.3 优化设计的求解方法与策略

针对柔性机构的运动精度与可靠性联合优化问题，求解方法主要依赖于智能优化算法和多目标优化策略。常用的求解方法包括遗传算法、粒子群优化 (PSO) 和模拟退火等。这些方法能够在多维设计空间中进行全局搜索，避免局部最优解。具体应用中，遗传算法通过选择、交叉、变异等操作生成新的设计方案，适用于大规模设计问题；粒子群优化则通过模拟群体间的信息传递和自适应更新策略，能快速收敛到全局最优解^[5]。在柔性机构设计中，针对精度和可靠性两个目标，采用多目标优化策略能够同时考虑这两个指标，通过加权和法、Pareto 前沿法等方法生成最优解。例如，某设

计中，采用粒子群优化算法可以在优化结构参数的同时，保持 0.02mm 的运动精度，并使可靠性达到 98%。为了确保优化结果的有效性，通常结合实验数据进行验证，通过多次仿真和试验，调整算法的参数，最终找到最佳设计方案。

6 结语

通过对柔性机构运动精度与可靠性分析与优化设计的研究，可以得出几个重要结论。柔性机构的运动精度和可靠性是影响其性能的关键因素，二者之间存在一定的相互关系。在设计过程中，过度优化某一指标可能导致另一个指标的退化，因此需要在精度与可靠性之间找到一个平衡点。采用联合优化模型，结合精度和可靠性两个目标进行多目标优化，能够有效提升系统在复杂工作环境中的稳定性和适应性。智能优化算法，如遗传算法、粒子群优化等，在柔性机构的设计中具有较强的应用潜力，通过调整设计参数，可以实现最优设计方案。

参考文献

- [1] 崔雨晴.基于改进区域分解法的柔性多体系统运动精度可靠性分析[D].导师:孙志礼.东北大学,2020.
- [2] 刘瑀.高速剑杆织机共轭凸轮引纬机构运动精度可靠性分析与优化[D].导师:袁汝旺;李向杰.天津工业大学,2019.
- [3] 许付松.考虑间隙与构件柔性耦合的机构运动精度可靠性分析[D].导师:赵继俊.哈尔滨工业大学,2016.
- [4] 胡明,刘东旭,陈文华,钱萍,张虹,周小红,李伟.空间折叠展开机构运动可靠性仿真研究状况及关键技术分析[J].机械设计与研究, 2012,28(06):13-19.

Research on Precise Positioning Technology for Large Equipment Lifting in Petrochemical Installation

Fuyan Ben Wenjie Ren Zhuliang Wang

Zhejiang Industrial Equipment Installation Group Co., Ltd., Hangzhou, Zhejiang, 310022, China

Abstract

With the rapid development of the petrochemical industry, heavy lifting engineering has become an important part of engineering activities. Fixed positioning is crucial for ensuring the safety, economy, and quality of mechanical equipment installation. This article combines the characteristics of large-scale lifting in petrochemical engineering to discuss the application and development of heavy weight positioning technology, with a focus on high-precision measurement fixtures, dynamic weight positioning technology, optimization design and simulation of lifting schemes, and other main technologies. Through examples, this article introduces the application and significant effects of heavy component positioning technology in actual heavy component lifting engineering, highlighting the significant role of technological progress and optimization in improving lifting accuracy and ensuring safety. At the same time, the problems of heavy component positioning technology were explored and improvements were discussed.

Keywords

petrochemical industry; equipment hoisting; precise positioning; dynamic positioning; measurement technology

石油化工安装中大型设备吊装的精准定位技术研究

贲福延 任文杰 王祝良

浙江省工业设备安装集团有限公司, 中国·浙江 杭州 310022

摘要

随着石油化工工业的快速发展, 重件起重工程已成为一项工程活动的重要部分。定重定位对保证机械设备安装的安全性、经济性和质量至关重要。该文结合石油化工工程大件起重特点, 论述了重件定重定位技术的应用与发展, 着重介绍高精度测量工装、动重定重定位技术、吊装方案优化设计与仿真模拟等主要技术。通过示例介绍重件定重定位技术在实际重件起重工程中的应用与取得的显著效果, 彰显了科技进步与优化对提升起重精确度、保障安全的重大作用。同时, 探寻了重件定重定位技术的问题并对其改进进行了展望。

关键词

石油化工; 设备吊装; 精准定位; 动态定位; 测量技术

1 引言

石油化工生产行业是国家的基础建设重要组成之一, 其中石油化工行业的安装质量是影响其生产效率与生产稳定性的重要关键。其中, 石油化工生产行业的一项核心工作就是大重件的吊装工作, 既要满足吊装的精度要求, 又常常是在作业空间狭小的环境下需要精准位置的定置。因此, 大重件吊装定位作业精准操作技术成为保障大重件吊装精准性与安全的关键因素。随着科技的进步, 越来越多先进精密的检测仪表、运动坐标定位装置、智能化吊装技术方法用于吊装工作中, 实现了大重件吊装作业的精准稳定。然而, 在实际的吊装作业中, 由于吊装环境的不确定性, 怎样能提高吊装精度的同时减少人员操作失误和机械磨损是急需解决的问题。本研究旨在探讨石油化工生产装置大重件吊装作业精准定位技术, 分析其发展动态与应用前景, 旨在为后期的研发创新与实际技术应用提供理论与实践参考^[1]。

2 石油化工大型设备吊装概述

2.1 石油化工行业大型设备特点

石油化工行业的设备大多具有体积庞大、重量沉重、结构复杂的特点, 例如常见的反应釜、换热器和蒸馏塔等, 生产运用或制作特定材料或工艺, 其规模、重量远远超过一般工设备; 加工制造运输至安装全过程对精度、精细性技术要求高, 如防腐、热胀冷缩等确保其稳定运行, 其中就涉及工序诸多环节的平衡。而吊运就是该环节中重要组成部分, 不仅要精准放置设备, 还要安全可靠地高效完成。因此, 石化类吊装作业可应用先进的科技手段和工器具进行精细化作业。

2.2 吊装作业的重要性与挑战

在石油化工安装工作中, 起重工作是非常重要的一个环节。起重工作的准确度、速度和安全性对整个装置的质量和运行安排有着非常直观的影响。但同时起重工作也面临着