

2.2 关键技术应用

第一, 工艺仿真优化。利用 Aspen Plus 软件将数字化丁腈橡胶装置系统建构起来, 运用多元化的建模措施来实现全流程的计算, 包括原料输送、乳液聚合、凝聚分离到单体回收等。该系统集成了相平衡计算模块, 能够对乳液聚合系统的多组分热力学行为进行精确描述, 并将反应速率方程和传输方程结合起来, 建立起动态质量和能量守恒模型。该系统通过对数据拟合的迭代求解, 模拟包括单体转化率、共聚物组成、乳胶粒径分布和反应放热特性等不同运行条件下关键变量的变化规律。利用气液平衡热力学模型耦合传质计算的单体回收段, 对闪蒸、汽提等工艺参数进行优化处理, 使残余的单体回收率得到提高。在流程优化过程中, 系统通过约束非线性优化算法对进料比、搅拌速率、温度梯度等进行调整, 基于灵敏度分析方法对关键操作变量进行识别, 从而实现高效低耗的过程^[2]。

第二, 优化与预测参数。数字化模拟系统构建生产条件-产品性能之间的非线性映射关系, 主要依托的是高维数据训练和回归分析技术。该系统采用拉丁超立方抽样方法, 获取不同运行工况下的模拟数据, 并对反应速率常数、乳化剂浓度、自由基终止速率等关键参数进行修正, 基于贝叶斯优化算法提高预测精度。并通过 Montcalo 随机仿真技术对工艺稳定性进行评估。此外, 该系统还能嵌入灰色预测模型, 实现对产品粘度、分子量分布、乳胶稳定性的前瞻性控制, 对连续生产过程中的变量趋势进行时间序列分析。工业化试验验证表明, 该系统在不同工况下的预测误差控制在 1.5% 以内, 可用于新配方开发及生产过程优化。

第三, 设备设计优化。基于数字化建模的设备参数优化模块, 通过物性数据库与热力计算模型, 提供换热设备、储罐、反应釜及输送管道的关键设计参数。系统采用变步长有限差分法求解换热器热负荷方程, 结合流动阻力计算与强化传热分析, 优化设备管程及壳程结构, 提高换热效率。对于聚合釜设计, 系统通过湍流-层流混合模型模拟不同搅拌方式对物料混合均匀性的影响, 并计算搅拌功耗及剪切速率分布, 以优化搅拌叶片形状及转速。此外, 系统集成流体动力学 (CFD) 模拟技术, 分析管道内多相流特性, 并依据压力损失及固含量分布优化管径及泵送参数。针对胶浆输送管线 (衬玻璃) 多段法兰连接的设计需求, 系统利用 E3D 软件进行自动分段计算, 确保法兰间距及长度符合制造及检修要求, 并减少安装误差及返工成本。

3 数字化系统在特种丁腈橡胶项目建设中的应用

3.1 辅助工程设计, 提高建设效率

特种丁腈橡胶生产工艺涉及复杂的乳液聚合、凝聚分离及溶剂回收环节, 对物料输送、反应动力学及设备布置的精准度要求较高^[1]。第一, 数字化系统通过 Aspen Plus 工艺模拟软件建立全流程物料及能量平衡模型, 基于实时计算获

取物流动态特性, 提供关键流股的温度、压力、组分浓度及流速等参数, 确保工程设计数据的准确性。对于气液平衡及传质强化过程, 系统采用非线性方程组数值求解方法, 优化单体回收塔塔板布置及精馏操作条件, 为设备选型及管道设计提供可靠依据。第二, 结合 AVEVA E3D 三维设计软件, 系统构建高精度三维可视化模型, 实现反应釜、换热器、储罐及管道的空间布局优化。利用自动碰撞检测与干涉分析技术, 识别不同专业设备间的空间冲突问题, 减少后期施工阶段的设计调整。针对衬玻璃胶浆输送管线, 系统依据制造工艺及检修标准, 进行法兰连接优化分段计算, 确保管道支撑结构与热膨胀补偿的合理性, 并减少安装误差。第三, 在工程施工阶段, 系统集成数字化施工管理平台, 基于 BIM (建筑信息模型) 技术建立施工进度与设备安装协调模型, 动态调整物料供应及装置调试方案。结合传感器监测数据, 实现施工质量数字化验收, 并通过虚拟仿真分析施工关键环节, 提高整体建设效率。

3.2 协助工艺优化, 提升产品性能

特种丁腈橡胶的聚合反应受单体配比、引发体系、温度梯度及乳化剂选择等因素的影响, 合理调整工艺参数对于产品的分子量分布、胶乳稳定性及物化性能至关重要。首先, 数字化系统利用 Aspen Plus 软件建立非均相聚合动力学模型, 结合聚合速率方程及传质方程, 对自由基引发速率、单体转化率及聚合度进行计算分析, 优化单体投料比例及乳化体系设计, 确保聚合反应的可控性。其次, 针对脱气及精制工艺, 系统通过气液相平衡计算及蒸发动力学仿真, 分析未反应单体的脱除效率及残留浓度变化, 并对真空度、温度梯度及气提速率进行优化计算。结合多变量工艺控制算法, 系统模拟不同操作条件对聚合物物性参数的影响, 校正分子链结构及交联度预测模型, 以提高产品耐油性、耐磨性及低温柔韧性。再者, 在产品性能预测方面, 系统基于材料性能数据库及实验室数据进行回归分析, 构建橡胶力学性能与微观结构的关联模型。通过输入不同工艺参数, 计算拉伸强度、耐溶胀性及动态力学性能, 并模拟极端工况下的材料失效模式, 为高端应用领域提供精准的数据支撑。此外, 系统可对原料纯度、助剂种类及工艺条件调整进行敏感性分析, 筛选最优配方, 减少试验成本, 提高工艺稳定性。

3.3 指导生产运行, 降低成本与风险

通过实时数据采集、工艺参数优化和异常工况模拟, 数字化系统在特种丁腈橡胶生产装置的运行管理中实现了过程控制的高精度。该系统可基于分布式控制系统 (DCS) 和先进过程控制 (APC) 技术, 结合数据回归分析, 动态监测聚合反应釜、脱气塔、乳胶储槽等关键设备, 建立运行变量与产品质量参数的关联模型。系统利用偏差修正算法可实现温度、压力、单体转化率等工艺条件的自动调整, 保证每一生产环节工况最优。在生产异常诊断方面, 该系统采用故障树分析 (Fault Tree Analysis, FTA) 和贝叶斯网络模型,

预测装置运行数据,识别可能出现的故障。并且系统可结合机制模型和历史数据进行模拟分析,评估故障影响范围,并提供优化调整方案,以应对生产过程中出现的流量波动、热交换效率降低或未反应单体残留超标等问题,能够有效提高装置运行安全与稳定,实现运行成本与风险的减小。

3.4 智能巡检,提高设备安全性

特种丁腈橡胶生产装置长时间处在高压、高温等高风险环境与工况当中,且还会进行危险化学品的操作。传统的人工巡检方式不但效率低,而且对设备潜在的故障、安全隐患等,很难及时发现,这也是目前我国人工巡检工作面临的困难和隐患。于是就有了数字系统中智能巡检的功能。该系统通过高精度传感器和监控设备的部署,对各个环节的温度、压力、振动等关键运行参数进行实时采集。结合物联网(IOT Technology),智能巡检系统可以24小时不间断地对设备进行监控,并自动完成反应釜、冷却塔、泵组等设备的定期巡检任务,减少人为疏忽和操作风险。

引进AI算法能够让智能巡检系统通过数据分析来对设备的运行状态进行预测,将其中可能存在的故障隐患以及异常波动识别出来。例如,当温度传感器出现异常波动时,系统可以结合机器学习模型,基于历史数据与实时资料比对,进行分析,及时识别是否存在超温、渗漏或设备老化等问题的发生。系统可以在设备出现故障初期即发出预警,并通过集成的智能诊断模块推荐最优的维护方案,从而避免传统巡视依赖人工判断而产生的延误风险。另外,智能巡检系统可以对生产及设备运行资料进行详细记录,并对历史记录进行全程可追溯生成。这些资料不仅为设备检修和故障排查工作提供了详细的基础,而且为后续的流程优化和生产效率的提高提供了有价值的支撑。

4 应用成效分析

数字化系统的应用显著提升了特种丁腈橡胶项目的生

产效能,具体体现在以下几个方面:首先,在生产过程中通过工艺参数的精确优化及流程仿真实现了数字化系统自动化水平的提高,让人工介入的概率大幅降低。特别是优化反应时间、单体回收和物料输送方面的阐述让生产周期明显缩短。其次,在能耗方面,通过优化换热网络,数字系统使能耗大大降低。系统在热交换过程中根据实时数据动态调整温差和流量,最大限度地保证了热量的回收利用。这种精细化的能效管理,在降低能源无效消耗的同时,也使整个生产环节的碳排放量得到了降低,从而促进了工程的可持续发展。再者,通过全时监控、故障预警机制,在数字化系统中实现智能巡检功能,保证了设备运行平稳、安全。该系统通过对设备状态的实时分析,使潜在故障点得到早期识别,从而减少了设备故障造成的安全事故。通过智能诊断和自动调整,保障了生产环境的安全性,并有效提高了员工的安全保障感。

5 结论

数字化丁腈橡胶装置系统在特种丁腈橡胶项目建设中展现出显著优势,不仅提高了工程设计精度,还优化了工艺参数,提升了生产效率及产品性能。同时,智能巡检系统的应用进一步保障了生产安全,降低了运行成本。未来,随着数字化技术的不断发展,该系统将在更多高端橡胶材料项目中发挥更大作用,为橡胶产业的智能化升级提供重要支撑。

参考文献

- [1] 钱伯章.中国石化氢化丁腈橡胶工业装置投产[J].合成橡胶工业, 2023, 46(1):44-44.
- [2] 王兴刚,秦静雯,李薇,等.基于工业互联网构建丁腈橡胶装置安全平稳运行智能化管控平台—机理模型研究开发[J].中国石油和化工标准与质量, 2024(16).
- [3] 刘治理.3.5万吨/年特种丁腈橡胶装置钢衬玻璃管安装质量控制措施[J].化学工程与装备, 2023(10):220-221,227.

Research on fatigue damage assessment and life span prediction method of Marine platform structure

Yanan Chen

Biwei (Tianjin) Security Technology Co., Ltd., Tianjin, 300000, China

Abstract

As an important facility for the exploitation of oil, natural gas and other energy resources, the Marine platform structure is exposed to the Marine environment for a long time, and bears complex dynamic loads such as waves, wind forces and ocean currents, which is prone to fatigue damage. The accumulation of fatigue injuries can seriously affect the safety and reliability of the platform structure, and may even lead to catastrophic failures. Therefore, fatigue damage assessment and life prediction of marine platform structures are the key to ensure their safe operation. Based on the fatigue damage characteristics of ocean platform structures, this paper reviews the current mainstream fatigue damage assessment methods and analyzes the advantages and disadvantages of various life prediction techniques. Through fatigue test and numerical simulation of typical ocean platform structure, a comprehensive fatigue damage assessment and life prediction model is proposed. The model combines fatigue damage theory, environmental load characteristics and structural performance parameters to more accurately predict the remaining service life of Marine platforms. The study shows that the combination of numerical simulation and experimental data can effectively improve the life prediction accuracy of Marine platform structure, and provide a scientific basis for the health monitoring and maintenance of Marine platform.

Keywords

Marine platform structure; fatigue injury; life prediction; numerical simulation; structural health monitoring

海洋平台结构疲劳损伤评估与寿命预测方法研究

陈雅楠

必维(天津)安全技术有限公司, 中国·天津 300000

摘要

海洋平台结构作为石油、天然气等能源资源开采的重要设施,长期暴露于海洋环境中,承受复杂的波浪、风力、海流等动态载荷,容易发生疲劳损伤。疲劳损伤的积累会严重影响平台结构的安全性和可靠性,甚至可能导致灾难性故障。因此,对海洋平台结构进行疲劳损伤评估与寿命预测是确保其安全运营的关键。本文从海洋平台结构的疲劳损伤特性出发,综述了当前主流的疲劳损伤评估方法,并分析了各类寿命预测技术的优缺点。通过对典型海洋平台结构的疲劳试验与数值模拟研究,提出了一种综合的疲劳损伤评估与寿命预测模型。该模型结合了疲劳损伤理论、环境荷载特性与结构性能参数,能够更准确地预测海洋平台的剩余使用寿命。研究表明,结合数值仿真与试验数据,能够有效提高海洋平台结构的寿命预测精度,为海洋平台的健康监测与维护提供科学依据。

关键词

海洋平台结构; 疲劳损伤; 寿命预测; 数值模拟; 结构健康监测

1 引言

1.1 研究背景与问题现状

随着全球能源需求的不断增长,海洋平台在石油、天然气等资源的开采中发挥着越来越重要的作用。这些平台通常位于海洋深处,长时间暴露在恶劣的海洋环境中,承受波浪、风力、海流等复杂的动态载荷。海洋平台结构由钢材等材料构成,尽管其具有较强的耐腐蚀性和承载能力,但长期的动态载荷和腐蚀环境会导致材料疲劳,逐步积累损伤。疲

劳损伤是海洋平台结构失效的主要原因之一,尤其在极端气候条件和海洋环境下,平台结构的疲劳损伤可能会导致灾难性后果。

尽管当前已有一些疲劳损伤评估和寿命预测的研究成果,但由于海洋平台结构在复杂环境下的动态响应特性,现有的评估方法在实际应用中仍面临不少挑战。例如,海洋环境荷载的不确定性、结构损伤的非线性特征、不同材料的疲劳性能差异等因素,均影响着平台结构的疲劳寿命预测。因此,如何提高疲劳损伤评估的精度、降低预测误差,仍是当前海洋平台安全性评估和健康监测中的重要课题。

1.2 研究意义与目标

海洋平台的疲劳损伤评估与寿命预测是确保平台结构

【作者简介】陈雅楠(1985-),女,中国天津人,本科,工程师,从事海洋平台结构安全评估、设计审查研究。