

值显著提高,并伴随明显的周期性波动。这种应力响应特征不仅加速材料微观损伤的累积,也提高了裂纹扩展的不稳定性。对危险区域的精确识别与应力集中机理的深入分析,为后续疲劳评估与结构优化提供了关键依据。

4.2 疲劳寿命预测与损伤评估

在明确危险区域应力状态的基础上,疲劳寿命预测成为评估系统耐久性能的重要手段。基于应力—寿命关系建立的分析方法,能够将材料疲劳特性与实际载荷条件相结合,对关键部位在循环载荷作用下的寿命进行定量估计。通过引入典型工况下的载荷谱,可将复杂的实际运行过程转化为可计算的应力循环序列,从而获得不同应力水平对应的寿命分布。仿真结果显示,高应力区域的损伤累积速率明显高于其他部位,且在高爆压工况下呈现加速发展趋势。通过对损伤分布与寿命预测结果的综合分析,可以识别系统中最为关键的薄弱环节,并为结构改进与运行策略优化提供量化支持。

4.3 可靠性分析方法与结果评价

在疲劳寿命评估的基础上,引入概率统计方法对系统可靠性进行进一步分析,有助于揭示参数不确定性对结构安全性的影响。通过对材料性能波动、载荷变化及制造误差等因素进行随机建模,可以获得关键部位失效概率的分布特征,从而对系统在不同工况下的可靠性水平进行定量评价。计算结果表明,在高爆压运行条件下,由于应力水平整体提升及载荷波动加剧,系统可靠性呈现明显下降趋势,尤其是在应力集中区域,失效概率增长更为显著。通过对敏感参数进行分析,可以识别影响可靠性的主要因素,并为优化设计提供方向。

5 结构优化与可靠性提升策略

5.1 关键结构参数优化设计

在高爆压工况下,连杆与曲轴关键部位承受复杂交变载荷,其几何参数对局部应力分布具有决定性影响。通过对连杆截面形状进行优化设计,可在保证承载能力的前提下改善应力流线分布,降低局部应力集中程度。曲轴过渡圆角半径的合理选取同样关键,适当增大圆角可有效缓解几何突变带来的应力峰值,但需兼顾结构空间约束与加工可行性。参数优化过程需在强度、刚度与质量之间建立多目标平衡关系,通过数值仿真与敏感性分析识别关键设计变量,从而提高优化效率与结果可靠性。在多工况耦合作用下,结构轻量化与高可靠性并非对立目标,通过合理设计可实现二者的协同提升,为系统整体性能优化提供结构基础。

5.2 载荷分布与动力匹配优化

系统在高爆压运行条件下的载荷特性,取决于燃烧过

程、惯性效应及结构匹配关系的综合作用。燃烧参数的调控直接影响气体压力曲线形态,从而改变作用于活塞及曲轴系统的力矩分布特征。通过优化燃烧过程与配气时序,可在一定程度上平滑载荷变化,降低峰值应力对关键部位的不利影响。与此同时,曲轴配重及转动惯量的合理配置,对于改善系统动力平衡具有重要意义。惯量分布的优化能够调节系统固有频率特性,使其避开主要激励频段,从而减弱振动响应。载荷分布与动力匹配的协同优化,有助于降低结构疲劳累积速率,并提升系统在复杂工况下的运行稳定性。

5.3 材料与制造工艺改进

材料性能与制造工艺水平在提升系统抗疲劳能力方面具有基础性作用。高强度、高韧性材料的应用,可显著提高关键部件在高应力环境下的承载能力与抗裂性能。通过优化材料成分与冶炼工艺,能够改善内部组织均匀性,降低缺陷对疲劳寿命的不利影响。表面强化处理技术在延缓裂纹萌生与扩展方面表现出显著效果,残余压应力的引入有助于抵消部分工作应力,从而提高抗疲劳性能。精密加工技术的应用则能够降低表面粗糙度,减少微观应力集中源的产生。制造过程中的质量控制与无损检测同样不可忽视,其对于保障结构完整性与运行可靠性具有重要意义。通过材料性能提升与工艺优化的协同推进,可为结构设计优化提供坚实支撑,从而实现系统耐久性与安全性的整体提升。

6 结语

高爆压工况对活塞—连杆—曲轴系统提出了更高的性能与可靠性要求。通过耦合仿真方法,可以深入分析系统在复杂载荷作用下的动态响应与应力分布,为关键部位的疲劳评估提供依据。在此基础上,通过结构优化与参数调整,可以有效提升系统的可靠性与使用寿命。未来研究可进一步结合智能算法与实验验证,推动发动机核心部件设计向高精度与高可靠性方向发展。

参考文献

- [1] 吴玉霞.高爆压重型柴油机钢活塞与活塞销匹配性能研究[D].山东大学,2022.
- [2] 张猛,李乾语,韦锦顺,等.一种适应高爆压的进气系统设计[J].重型汽车,2020,(06):18-20.
- [3] 彭庆永,张猛,卢响,等.高爆压增压排气系统的开发与试验研究[J].重型汽车,2019,(01):11-13.
- [4] 李显戴.高爆压条件下中重型车用柴油机曲轴的轻量化研究[D].清华大学,2018.
- [5] 赵铮.颗粒增强铜基复合材料的爆炸压实和数值模拟研究[D].大连理工大学,2007.

Intelligent Control and Safety Operation Analysis of Chemical Production Processes

Liangliang Bo Sailong Pan Xingyu Wang Luan Li Chan Liu

Ordos City Hangjin Banner Xinsheng Natural Gas Co., Ltd., Ordos, Inner Mongolia, 017000, China

Abstract

Chemical production involves multiple processes, various equipment, and complex variables. Under traditional manual control, it is difficult to achieve precise operations and immediate responses. In this context, introducing an intelligent control system, utilizing technologies such as DCS, PLC, SCADA, and AI, can realize automated monitoring of the production process, information collection, dynamic optimization, and preventive maintenance. This allows for real-time adjustments of key process data and timely alerts in the event of emergencies, greatly reducing hazards caused by human factors. The intelligent control system also improves production efficiency, saves energy consumption, enhances product quality, and increases safety measures. By analyzing the likelihood of accidents and integrating various emergency plans, it achieves continuous safe production in chemical processes and environmental protection.

Keywords

chemical production; intelligent control; safe operation; process optimization; risk management

化工生产过程智能化控制与安全运行分析

薄亮亮 潘赛龙 王兴宇 李栾 刘禅

鄂尔多斯市杭锦旗新圣天然气有限责任公司, 中国·内蒙古 鄂尔多斯 017000

摘要

化工生产中包括多种工艺、多种设备以及复杂的变量, 在传统的手动控制下很难做到精准的操作以及即时反应, 在此情况下, 引入智能控制系统, 借助DCS、PLC、SCADA、AI等技术实现生产过程的自动化监控、信息收集、动态优化及预防性维修, 可以针对主要的工艺数据做出即时调整, 并能在出现突发状况的时候及时发出警报, 极大减少了人为因素造成的危险隐患。而智能化控制系统也提升了生产效率, 节约能源消耗以及产品质量, 同时增加了安全保障措施, 在对事故发生可能性进行分析的基础上, 融合各种应急预案, 从而达到对化工生产的持续安全生产以及保护环境的目的。

关键词

化工生产; 智能化控制; 安全运行; 过程优化; 风险管理

1 引言

化工生产的复杂度高, 存在高温高压等危险条件以及易燃易爆品等多种因素, 众多工艺流程和各种生产设备同时进行工作使得操作非常困难, 传统的手工控制存在着反应迟缓的问题、容易出现偏差还有着一定的安全隐患等问题。智能控制系统可对生产现场的数据进行实时监控并对相关参数进行调整并加以预判, 从而可以做到精准把控化工生产的过程并且及时发现隐患所在, 给出提示和改进措施。配合着安全运行策略不仅提高了产量及质量, 更减少事故的发生频率, 保障了化工行业的稳定与安全运行。

【作者简介】薄亮亮(1992-), 男, 中国内蒙古丰镇人, 从事化学工程与工艺研究。

2 化工生产智能化控制技术分析

2.1 智能化控制系统构成

智能控制系统是一套保证化工生产自动化的基础框架, 包括DCS、PLC、SCADA、MES等几个方面。DCS主要是用于连续工业过程中的控制系统, 它有分布式的计算机控制系统, 可以进行分散式决策和控制, 从而让一个个的生产和加工单位协调稳定的运作, 对温度、压力、流量等多种变量进行实时调整并做出及时反应。适用于复杂的多种变量的化工工艺的操作。PLC则是属于设备级别的控制系统, 它具备了模块化、快速响应、易于编程的优点, 在此装置上进行设备级逻辑控制, 它可以接入到更高的控制级别系统(SCADA、DCS), 完成更精确的动作以及参数配合操作。

SCADA系统侧重广域的数据采集及监视, 可以从远距离汇集展示厂内生产和运行情况, 给操作员以及及时警报及界面对话的方式, 加快事故应急处理效率。MES是生产车间

管理系统,介于底层控制设备和高层企业资源规划(ERP)之间,把当前生产的实时信息转换成调度以及排程、质量管控等生产决策的基础,完成由计划到实际生产过程的闭环控制。通过对上述系统的联动配合使用,使得化工企业可以形成由现场调控到生产管理的一体化智能系统。

2.2 关键技术与方法

过程参数在线检测及控制是对智能化控制实现的重要组成部分。用传感器监测反应罐、分离机以及其它重要机器设备的温度、压力、流速等物理量变化情况然后把测得的信息传送给控制器加以处理并作出反应来改变控制阀的动作状态从而让系统保持在最佳工作状态下运行。这种自动反馈不仅增强了变量的准确性而且降低了人为干预的程度增强了生产的稳定程度。

数据采集及实时处理技术通过对工业网络来传送实时的过程数据到实时数据库中,运用人工智能与机器学习等技术对海量的数据挖掘以及对其变化规律的分析。人工智能算法能发现隐藏在数据中的工艺规则,并对工艺参数给出调整意见或者预警异常现象的发生;而预测性维护是借助设备状态信息,在设备出现故障之前提醒检修需求防止设备因故障而产生停止运转以及安全隐患的现象发生,提高设备使用率和设备寿命周期管理水平。

2.3 智能化控制的应用案例

典型的化工企业在应用了智能化控制系统之后使生产流程更加合理并且安全可靠,该大化工装置内DCS系统设置了完备的数据采集和报警单元,在出现一些重要参数如温度还有压力超标时可以迅速做出反应从而改变操作方法大大减少了生产上的波动从而使得产品的合格率有了很大的提升,同时该系统也与PLC相结合能够很快作出相应的控制来调节现场的阀门、泵等相关装置从而节省了调节的时间,从而提升了工厂的整体生产能力。

另一案例,MES系统集成生产设备管理以及质量管理体系,应用控制系统的现场监测数据进行生产的排产以及原材料的流转分析从而达到生产流程可视化及可追踪的目的。智能化控制对于提高生产效率的作用主要表现在降低能耗量,加快生产速度,减少不良品数量等,还可以通过对生产设备状态的时时检测以及报警功能来保障安全生产水平的提升,减少了安全事故的发生概率及设备损坏程度。

3 化工生产安全运行分析

3.1 化工生产的安全风险特征

化工生产工艺中广泛存在高温高压、易燃易爆、有腐蚀性的化学物品及其他有害物质等等潜在危害性。在高压高温条件下运行的釜式反应器、精馏塔等装置如管理不当容易引起超温超压乃至热失控、爆燃以及泄露事故造成巨大伤害。危险化学品自身就具备各种各样的危险特性比如火灾、

爆炸、毒物扩散等情况,会对附近生态环境及人类生命健康造成长期损害。化工产品的物理及化学特性决定了必须进行严密的监控和不间断的检测来防止出现大的安全事故。

生产过程繁杂多变,包含着多级联反应、分离、输送、储存等一系列过程,各工序相互关联密切。因此,对系统的变量传递及非线性效应导致的安全风险增大,某一环节变量出现偏差会导致连锁反应,导致产生严重安全事故;另一方面一些传统生产工艺还需要人工干预,人失误和失察带来的风险往往是事故发生的主要原因,所以发现及消除由于工艺复杂及人为因素所引发的安全隐患问题对于保证其平稳可控运行至关重要。

3.2 安全运行管理体系

安全生产需要强有力的安全管理保障,其中包括安全操作程序以及系统的管理制度和多方面风险识别手段等。安全操作程序是明确的操作步骤以及重要的操作节点还有紧急预案等,保证设备安全、人员安全的操作行为;系统管理是在化工厂里不仅是装置维护及操作过程还有教育培训、岗位责任及审批等方面都有利于减少人员失误造成的安全事故。

多重风险评价手段形成化工安全生产技术保障系统。危险与可操作性研究(HAZOP)可以全面地查找出生产过程中的偏差以及可能产生的影响,在设计和运行时给予风险防范指导;事故树分析(FTA)通过对事故的发生逻辑图来找出事故发生的全过程,在制定预防措施方面给出量化的依据。在线监测报警装置与上述的风险评价工具相互配合,可以及时获取到现场的数据并发送警报信息,将隐患在初期就发现并且加以遏制,避免出现更大的危害。

3.3 智能化控制对安全运行的保障作用

智能控制系统利用自动调节明显降低了由于人的因素造成的对安全生产带来的不利影响,在实际生产过程中可以根据实时数据信息来改变相关的工艺参数比如:温度,压力以及流量等等,一旦出现偏离正常值的情况就会及时进行纠正或者启动相应的安全连锁系统进行保护从而防止出现参数波动造成设备失衡或者是发生危险化学品的意外反应。因此该种方式可以提升整个系统的控制水平以及减少反应时间让化工生产设备一直处于一个稳定的安全状态之中。

智能化即时监测与预警预报增强事故预防水平。通过传感器网络及工业互联网、人工智能算法,实现对历史数据的学习训练、数据分析、提前发现潜在的异常情况并提早进行预警提醒,减少事故发生几率。比如对温度或者压力的变化趋势做出预估从而避免可能出现的问题提前做出改变或停止的动作,同时还可以用到安全运转策略之中,比如及时调节报警等级或者自动优化工况等等,都能有效的提升装置本体的安全性,如图1所示。