

化工机械设备故障预测与预防维护系统研究

张 强¹ 吴 龙¹ 杨 发²

1. 盛虹炼化（连云港）有限公司 江苏 连云港 222065

2. 内蒙古新特硅材料有限公司 内蒙古 包头 014100

摘 要：在化工产业蓬勃发展的进程中，化工机械设备的稳定运行至关重要。本文围绕化工机械设备故障预测与预防维护系统展开研究。先剖析故障类型、原因及特点，阐述基于传感器技术与数据分析的故障预测方法。进而论述预防维护系统的构建，包括目标、原则及组成部分。同时提出实施策略，涵盖设备档案管理、人员培训及与企业管理系统集成。旨在通过研究，为化工企业提供有效故障预测与预防维护方案，提升设备可靠性与稳定性，保障化工生产安全高效运行。

关键词：化工机械设备；故障预测；预防维护；系统研究

引言：化工机械设备的稳定运行对化工生产至关重要。然而，复杂的生产环境与设备自身特性，使故障频发，不仅影响生产效率，还可能引发安全事故。因此，深入研究故障预测与预防维护系统意义重大。通过对故障进行分析，探索有效的预测方法与技术，构建科学的预防维护系统并制定实施策略，可提前察觉故障隐患，及时维护，降低故障发生率，实现化工生产的安全、稳定与高效，对化工行业发展具有重要推动作用。

1 化工机械设备故障分析

1.1 故障类型

1.1.1 突发性故障

突发性故障是化工机械设备运行中突然出现的故障类型。这类故障通常由意外的外部因素导致，比如化工生产时遭遇不可抗力的外力冲击，或是设备运行条件突然发生剧烈变化，致使设备瞬间超出负荷。其显著特点为难以预测，在毫无征兆的情况下突然发生，给正常生产带来极大干扰。由于事发突然，故障发生后往往缺少明确的维修规律可循，维修人员需在短时间内凭借经验和专业知识判断故障原因并进行修复，这对维修工作的应变能力提出了很高要求。

1.1.2 累积性故障

累积性故障主要源于化工机械设备自身长时间使用的损耗。设备内部的零件在持续运转过程中，因摩擦、化学腐蚀等因素逐渐磨损老化。例如，长时间处于高温高压、强腐蚀性的化工环境中，设备的密封件、管道等部件会加速损坏。这种故障是一个逐渐发展的过程，前期设备虽能运行，但性能会逐渐下降。不过，通过对设备运行参数的长期监测和分析，能捕捉到故障发展的趋势，从而在故障发生前采取措施，避免造成严重后果。

1.2 故障原因

1.2.1 设备老化

化工机械设备长期处于高强度运行状态，各部件历经无数次机械应力作用与化学侵蚀，加速老化。像金属材质的管道、容器，在长期化学物质的腐蚀下，壁厚逐渐变薄，强度降低；橡胶密封件在高温、化学介质影响下，弹性减弱、变硬干裂。同时，电气元件长时间使用，性能也会衰退，引发电路故障。设备老化是不可避免的自然过程，但其老化速度受运行环境、维护保养等因素影响。

1.2.2 运行不当

操作员对设备操作规范掌握不足，或未严格遵循操作规程，易致运行不当引发故障。例如，启动设备时未按顺序进行，可能造成设备瞬间负荷过大；运行中随意调整关键参数，如转速、压力等，使设备偏离正常工作状态。此外，设备长时间连续运行，未给予适当的休息和维护时间，也会加速设备磨损，引发故障，严重影响设备寿命与生产稳定性。

1.2.3 异常工况

化工生产中，异常工况时有发生。如反应釜内温度因温控系统故障突然升高，远超正常范围，会使反应物性质改变，设备材料性能受损；压力突然波动过大，可能导致管道、容器等部件变形甚至破裂。物料成分、流量异常，也会影响反应进程，加剧设备磨损。异常工况不仅威胁设备安全运行，还可能引发连锁反应，造成更严重的生产事故。

1.2.4 零部件失效

化工机械设备由众多零部件协同工作，其中任何一个零部件失效都可能引发故障。如轴承长期承受高负荷运转，润滑不足，会导致滚珠磨损、滚道损伤，使设备

振动加剧；齿轮在传递动力过程中，因齿面磨损、疲劳点蚀，导致传动精度下降，甚至断齿。密封件老化、破损，会造成物料泄漏，影响生产且可能引发安全问题。零部件失效多由设计缺陷、材料质量、制造工艺及运行条件等因素导致。

1.3 故障特点

1.3.1 隐蔽性

化工机械设备故障的隐蔽性主要体现在其发展过程较为隐匿。在故障初期，设备虽已出现细微异常，但从表面运行状态较难察觉。例如，设备内部零件的轻微磨损、腐蚀，可能仅表现为极其微小的性能变化，常规巡检难以发现。故障往往从局部小问题逐渐累积、扩散，在内部悄然发展。直至故障发展到一定程度，引发设备整体性能下降或出现明显故障症状时，才易被察觉。然而此时，故障可能已对设备造成较大损害，增加了维修难度与成本。

1.3.2 随机性

化工机械设备故障具有随机性。一方面，设备运行受多种复杂因素共同作用，原材料特性、制造工艺的微小差异，会使设备个体性能存在波动，故障发生的时间和形式难以预测。另一方面，运行环境中的不确定因素，如突发的温度、湿度变化，以及意外的外部干扰，都可能随机引发故障。此外，设备维修质量参差不齐，也会给故障发生带来随机性。这种随机性使得故障预防与维护工作面临更大挑战，难以精准预估故障发生^[1]。

2 化工机械设备故障预测方法与技术

2.1 基于传感器技术的故障预测

2.1.1 温度传感器

温度是反映化工机械设备运行状态的关键参数。温度传感器能实时监测设备关键部位的温度变化。在化工反应釜中，若反应异常，内部温度会迅速升高，温度传感器可及时捕捉这一变化。当温度超出正常范围，预示可能存在散热故障、反应失控等问题。在电机运行时，温度过高可能表示负载过大、绕组短路等。通过持续监测温度数据，并与预设阈值对比，可提前发现潜在故障隐患，为维护人员争取处理时间，避免因温度过高引发设备损坏甚至安全事故。

2.1.2 振动传感器

化工机械设备运行时，振动状态能直观反映其工作状态。振动传感器可精确测量设备的振动幅度、频率等参数。当设备出现不平衡、不对中或部件松动时，振动特性会发生显著改变。例如，泵在正常运行时振动平稳，若轴承磨损，振动幅度会增大且频率异常。通过分

析振动传感器采集的数据，利用频谱分析、时域分析等技术，能准确判断设备是否存在故障及故障类型，如识别出滚动轴承故障、齿轮故障等，从而实现对故障的早期预测与诊断。

2.2 基于数据分析的故障预测

2.2.1 数据挖掘技术

数据挖掘技术在化工机械设备故障预测中，旨在从海量设备运行数据中提取有价值信息。通过对设备历史运行数据、故障记录等多源数据的分析，可发现潜在模式与规律。例如，关联规则挖掘能找出不同运行参数间的隐藏关系，若某几个参数同时出现特定变化，可能预示着即将发生某种故障。聚类分析可将设备运行状态数据分类，识别出偏离正常类别的异常数据点，进而确定设备潜在故障状态。这些技术为故障预测提供数据驱动的洞察，助力提前察觉设备故障隐患。

2.2.2 机器学习算法

机器学习算法凭借强大的数据分析与模型构建能力，在化工机械设备故障预测中发挥关键作用。如决策树算法，基于设备运行参数构建决策规则，对故障进行分类预测，能直观展示故障判断逻辑。神经网络算法，尤其是深度神经网络，可自动学习复杂数据特征，处理高维度、非线性的设备数据。通过对大量正常与故障数据的学习训练，模型能精准识别设备运行状态，预测故障发生可能性。其不断优化的预测能力，为设备维护提供科学依据，降低故障风险^[2]。

3 化工机械设备预防维护系统的构建

3.1 预防维护系统的目标与原则

3.1.1 目标

提高设备的可靠性，减少故障发生的频率，确保化工生产的连续性。延长设备的使用寿命，降低设备的全寿命周期成本。提高设备的安全性，避免因设备故障引发的安全事故和环境污染。

3.1.2 原则

（1）预防性原则。以预防为主，通过对设备运行状态的监测和分析，提前采取维护措施，防止故障的发生。（2）系统性原则。将设备作为一个整体系统来考虑，从设计、制造、运行、维护等各个环节入手，构建全面的预防维护体系。（3）经济性原则。在保证设备可靠性和安全性的前提下，合理选择维护策略和方法，使维护成本最低。

3.2 预防维护系统的组成部分

3.2.1 状态监测模块

状态监测模块是预防维护系统的前端感知单元，对

化工机械设备运行状态进行全方位、实时监控。通过在设备关键位置,如轴承、电机、管道接口等,安装温度、压力、流量、振动等各类传感器,收集设备运行中的动态数据。这些传感器犹如设备的“贴身保镖”,持续收集数据,经数据传输线路汇总。状态监测模块依据设定阈值,实时评估设备运行状态,一旦数据异常,立即发出预警,为后续故障诊断提供及时、准确的数据支撑。

3.2.2 故障诊断模块

故障诊断模块是预防维护系统的分析中枢,基于状态监测模块提供的数据展开深度剖析。专业技术人员运用专业知识与经验,结合故障树分析、频谱分析等方法,对设备异常数据进行研判。比如,通过分析压缩机振动频谱,判断故障源于不平衡、不对中还是轴承问题。同时,参考设备历史故障记录与运行工况,进一步明确故障类型与成因。该模块犹如系统的“智慧军师”,不仅要精准找出故障所在,还需对故障可能的发展趋势做出预估,为后续维护决策提供科学、可靠的依据,确保设备问题得到准确判断与处理。

3.2.3 维护决策模块

维护决策模块是预防维护系统的决策核心,综合考量多方因素制定适宜维护策略。它以故障诊断模块的结果为基础,结合设备重要性、生产任务紧迫性及维护成本等要素进行权衡。对于连续生产线上的关键设备,若出现严重故障隐患,会优先安排维护,保障生产连续性;对于一般性设备且故障不影响生产,可选择在生产间隙维护,降低对生产的干扰。同时,考虑不同维护方式的成本效益,如预防性维护、修复性维护等,确保维护决策既满足设备运行需求,又能为企业节省成本,实现设备维护资源的优化配置。

3.2.4 维护执行模块

维护执行模块是预防维护系统的具体实施单元,负责将维护决策模块制定的方案付诸行动。该模块组织维修团队,依据维护任务需求,调配具备相应技能的人员。同时,准备好所需的备品备件、工具及设备,确保维护工作顺利开展。在维护过程中,维修人员严格遵循操作规程与安全规范,对设备进行维修、保养或更换零部件。完成维护后,详细记录维护内容、更换部件及维修时间等信息,为设备档案更新提供依据,助力设备后续维护管理^[3]。

4 化工机械设备预防维护系统的实施策略

4.1 设备档案管理

设备档案管理是化工机械设备预防维护系统的重要基础。需为每台设备建立详尽档案,涵盖设备基本信

息,如型号、规格、生产厂家、购置日期等,这有助于追溯设备来源与历史。运行数据记录同样关键,包括日常运行参数、启停时间、累计运行时长等,通过分析这些数据,可掌握设备运行规律与性能变化。规范的设备档案管理,能让维护人员快速全面了解设备状况,准确判断潜在问题,制定针对性维护策略,提高维护效率与精准度,延长设备使用寿命。

4.2 人员培训

人员培训是确保预防维护系统有效实施的关键。化工机械设备复杂且技术含量高,维护人员需具备专业知识与技能。一方面,要开展理论培训,涵盖设备工作原理、结构组成、故障类型及诊断方法等内容,让维护人员深入理解设备运行机制。另一方面,注重实践操作培训,通过模拟故障场景、实际设备维修演练等,提升他们的故障排查与修复能力。同时,培训应与时俱进,及时更新内容,如介绍新型设备技术、先进维护方法与工具。

4.3 与企业管理系统集成

将化工机械设备预防维护系统与企业管理系统集成,可实现企业管理的协同与高效。与生产管理系统集成,能依据生产计划合理安排维护工作,避免因维护影响正常生产进度,同时根据设备状态及时调整生产计划,保障生产连续性。与物资管理系统集成,可根据设备维护需求,精准采购和储备备品备件,避免库存积压或缺货,降低物资管理成本。与财务管理系统集成,能准确核算设备维护成本,为企业成本控制和预算制定提供依据^[4]。

结束语

综上所述,化工机械设备故障预测与预防维护系统对化工行业意义重大。通过对故障深入分析,采用传感器技术与数据分析等手段进行故障预测,构建涵盖多模块的预防维护系统并有效实施策略,能显著提升设备可靠性与稳定性。尽管在实际应用中仍面临数据精准度、系统兼容性等挑战,但随着技术不断发展,该系统将持续完善,为化工生产安全、高效运行提供坚实保障,推动化工行业可持续发展。

参考文献

- [1]班晓敏.化工机械设备故障与事故管理研究[J].2022. 165-167
- [2]付建军.化工机械设备故障与事故管理研究[J].2022. 189-199
- [3]汪鹏.化工机械设备故障及维修管理研究[J].2023. 210-220
- [4]尤鑫焱.化工机械设备状态监测与维护策略研究[J].建筑技术科学,2024.221-224