

# 智能传感技术在石油化工设备故障诊断中的应用

吕圣安

山东裕龙石化有限公司 山东 烟台 264000

**摘要:** 智能传感技术凭借高灵敏度、实时性与精准性优势,在石油化工设备故障诊断领域发挥关键作用。通过对设备振动、温度、腐蚀及泄漏等参数的实时监测,可有效识别机械故障、腐蚀故障等常见隐患,减少生产中断、安全风险与环境污染,显著提升设备可靠性与生产效率。针对应用中环境干扰、数据处理及维护成本等问题的应对策略,为该技术的持续优化与广泛应用提供了有力支撑。

**关键词:** 智能传感技术; 石油化工设备; 故障诊断; 应用

## 引言

石油化工行业作为国民经济的重要支柱,其设备运行的稳定性与安全性至关重要。然而,设备复杂的运行环境与多样的故障类型,对故障诊断技术提出了更高要求。智能传感技术融合传感器技术与信息技术,为设备故障诊断带来新的解决方案。本文聚焦智能传感技术在石油化工设备故障诊断中的应用,分析常见故障类型及危害,探讨技术应用路径、面临的挑战与应对策略,旨在推动行业设备管理水平的提升。

## 1 智能传感技术概述

智能传感技术作为现代信息技术的关键支撑,是集传感器技术、微机电系统(MEMS)、信号处理、人工智能算法等多学科交叉融合的前沿领域。其核心在于通过物理、化学、生物等效应,将外界的温度、压力、光线、振动等非电信号精准转换为电信号或数字信号,并结合智能化处理功能实现信号的采集、分析与决策输出。相较于传统传感器,智能传感器不仅具备基础的信号感知能力,更集成了数据处理、自校准、自诊断、无线通信等先进功能,显著提升了测量精度与可靠性。从技术架构层面来看,智能传感系统通常由敏感元件、转换元件、微处理器和通信模块构成。敏感元件直接与测量对象交互,依据物理效应将非电信号转换为电信号;转换元件则对初级电信号进行放大、滤波等预处理;内置的微处理器运用算法对信号进行实时分析,通过数字滤波、误差补偿等技术消除噪声干扰,并基于预设规则实现阈值判断与决策响应;通信模块则负责将处理后的数据以无线或有线方式传输至终端设备,实现远程监测与控制。这种高度集成化的架构,使得智能传感器能够在工业自动化、环境监测、医疗健康、物联网等领域发挥重要作用。在工业领域,智能传感器可实时监测设备的运行状态,通过振动、温度等参数变化预判机

械故障,实现预测性维护,降低停机风险;在环境监测场景中,智能气体传感器能够快速识别空气中的有害污染物,并通过网络将数据传输至云平台,构建动态的环境质量监测网络。随着人工智能与物联网技术的深度融合,智能传感技术正朝着微型化、低功耗、高灵敏度和多参数协同感知方向发展,未来将进一步拓展其在智能制造、智慧城市等领域的应用边界,成为推动数字经济发展的核心技术力量。

## 2 石油化工设备常见故障类型及危害

### 2.1 常见故障类型

#### 2.1.1 机械故障

石油化工设备运行过程中,机械故障多因部件长期受交变应力、摩擦损耗及振动冲击引发。泵、压缩机等转动设备的轴承因高负荷运转,易出现疲劳点蚀、润滑失效,致使轴系失衡产生异常振动;传动皮带长期处于高温、高湿度环境,橡胶材质老化龟裂,传动效率大幅下降。设备密封件在介质压力与温度波动下,会产生变形、磨损,导致泄漏问题。机械故障若未及时处理,小缺陷将逐渐演变为大故障,严重影响设备正常运转。

#### 2.1.2 腐蚀故障

石油化工生产涉及多种腐蚀性介质,如酸碱、盐溶液、硫化氢等,这些介质与设备金属材质发生化学或电化学反应,造成腐蚀故障。均匀腐蚀会使设备壁厚减薄,降低承载能力;局部腐蚀如点蚀、缝隙腐蚀,虽腐蚀面积小,但腐蚀速度快,易形成穿孔泄漏。在高温高压环境下,氢腐蚀会使钢材内部产生裂纹,破坏组织结构。介质中杂质、微生物也会加速腐蚀进程,缩短设备使用寿命,增加设备失效风险<sup>[1]</sup>。

#### 2.1.3 电气故障

石油化工设备的电气系统复杂,涵盖电机、变压器、配电柜等众多设备。电气元件在长期运行中,受环

境湿度、粉尘影响,绝缘性能逐渐下降,引发短路、漏电故障。电机绕组因过载、散热不良,温度过高导致绝缘层老化,造成绕组短路。电气接头连接不紧密,会产生接触电阻过大问题,引发局部过热甚至起火。雷电、静电等异常电气现象,也可能对电气系统造成冲击损坏,威胁设备安全稳定运行。

## 2.2 危害

### 2.2.1 生产中断与经济损失

石油化工生产具有连续性强的特点,任一设备出现故障都可能引发连锁反应,导致生产中断。机械故障使关键设备停机,物料输送、反应过程无法正常进行;电气故障造成电力供应中断,整个生产装置陷入瘫痪。生产中断不仅使原料浪费、产品产量下降,重新启动设备还需投入大量人力、物力进行调试和维护,同时企业因无法按时交付产品,面临违约赔偿,给企业带来巨大经济损失。

### 2.2.2 安全风险

石油化工生产涉及易燃易爆、有毒有害介质,设备故障引发的泄漏、火灾、爆炸等事故,严重威胁人员生命安全。腐蚀故障导致管道破裂,有毒有害气体或液体泄漏,操作人员一旦吸入或接触,会造成中毒、灼伤等伤害;电气故障产生的电火花,遇到泄漏的可燃气体或液体蒸汽,极易引发火灾爆炸事故。这些事故破坏力强,可能造成设备损毁、人员伤亡,后果不堪设想。

### 2.2.3 环境污染

石油化工设备故障引发的介质泄漏,会对环境造成严重污染。有毒有害化学物质泄漏到土壤中,破坏土壤结构,影响植物生长;泄漏到水体中,会污染水源,危害水生生物生存。火灾爆炸事故产生的浓烟、有害气体,排放到大气中,导致空气质量下降,影响周边居民生活。污染物的扩散和残留,治理难度大、周期长,对生态环境造成长期不良影响<sup>[2]</sup>。

## 3 智能传感技术在石油化工设备故障诊断中的具体应用

### 3.1 振动监测与故障诊断

(1) 在石油化工设备运行中,智能振动传感器通过内置的加速度计、速度传感器等,实时采集设备运行时的振动信号,将机械振动转换为电信号或数字信号,捕捉振动频率、幅值和相位等关键参数。(2) 运用傅里叶变换、小波分析等信号处理算法,对振动信号进行深度剖析,将其分解为不同频率成分,精准识别设备的不平衡、不对中、轴承磨损、齿轮故障等异常振动特征,以此判断设备运行状态。(3) 例如,当压缩机轴承出现磨

损时,振动传感器能敏锐感知异常振动变化,通过对比正常振动数据模型,提前预警故障,为维修人员提供准确的故障定位和维修依据,有效避免因设备振动故障引发的停机事故。

### 3.2 温度监测与故障诊断

(1) 智能温度传感器利用热电偶、热电阻等传感元件,与石油化工设备关键部位紧密接触或采用红外测温技术,实时获取设备表面或内部的温度数据,其高精度的测量能力可精确到 $0.1^{\circ}\text{C}$ 甚至更高。(2) 通过建立设备温度变化的数学模型,结合设备的运行工况、负荷等因素,对温度数据进行动态分析,当设备局部温度超过设定阈值,或温度变化趋势出现异常波动时,系统能快速判断可能存在的故障,如换热器堵塞导致的局部过热、电机绕组短路引起的温度骤升等。(3) 借助分布式温度传感网络,可对大型设备进行全方位温度监测,及时发现潜在故障隐患,为设备的安全稳定运行提供保障,降低因温度异常引发火灾、爆炸等事故的风险。

### 3.3 腐蚀监测与故障诊断

(1) 智能腐蚀传感器基于电化学原理、电阻法、电感法等,实时监测石油化工设备金属材料的腐蚀情况,通过测量金属腐蚀过程中产生的电流、电阻变化,精确计算金属腐蚀速率和腐蚀深度。(2) 利用无线传输技术,将腐蚀监测数据实时上传至数据处理中心,结合材料特性、介质成分、环境参数等因素,运用机器学习算法构建腐蚀预测模型,对设备未来的腐蚀趋势进行准确预测,提前评估设备剩余寿命。(3) 例如,在管道腐蚀监测中,智能腐蚀传感器可连续监测管壁厚度变化,当预测到腐蚀可能导致管道泄漏风险时,及时发出警报,以便采取防腐修复措施,延长设备使用寿命,保障石油化工生产的连续性和安全性<sup>[3]</sup>。

### 3.4 泄漏监测与故障诊断

(1) 智能泄漏传感器采用声发射、红外成像、气体传感等技术,对石油化工设备的管道、阀门、储罐等部位进行泄漏监测,声发射传感器可捕捉泄漏时产生的微小应力波信号,气体传感器能快速检测泄漏的有毒有害或可燃气体浓度。(2) 通过布置在设备周边的传感器网络,实现对泄漏源的精确定位,结合信号强度和传播时间等参数,运用定位算法计算出泄漏点的具体位置,同时利用大数据分析技术,对历史泄漏数据进行挖掘,总结泄漏规律和特征。(3) 一旦检测到泄漏,系统立即触发报警机制,并通过可视化界面直观展示泄漏位置和严重程度,为应急处理提供关键信息,避免因泄漏造成环境污染和安全事故,保障人员生命和财产安全。

## 4 智能传感技术在石油化工设备故障诊断应用中面临的挑战与应对策略

### 4.1 面临的挑战

#### 4.1.1 复杂环境干扰

石油化工生产现场存在高温、高压、高腐蚀及强电磁干扰的恶劣工况，这些复杂环境因素严重影响智能传感器的性能与数据采集准确性。高温会导致传感器材料性能劣化，使敏感元件产生热漂移，降低测量精度；强腐蚀介质可能侵蚀传感器外壳与内部电路，造成传感器失效；现场大量电气设备产生的电磁干扰，易使传感器输出信号出现畸变与噪声，导致采集到的设备运行数据失真，无法真实反映设备状态，进而影响故障诊断的准确性与可靠性。

#### 4.1.2 数据处理与分析难度大

石油化工设备运行过程中，智能传感器会持续产生海量多源异构数据，涵盖振动、温度、压力等多种类型，且数据更新频率高。这些数据不仅规模庞大，其特征空间复杂，数据间关联性难以捕捉。设备运行状态复杂多变，正常工况与故障工况下的数据特征差异细微，传统的数据处理与分析方法难以从海量数据中有效提取故障特征信息，难以建立精准的故障诊断模型，无法及时、准确地识别设备故障类型与程度，限制了智能传感技术在故障诊断中的应用效果。

#### 4.1.3 传感器可靠性与维护成本高

石油化工设备长期连续运行，对智能传感器的可靠性提出极高要求。恶劣的运行环境和频繁的工况变化，使传感器极易出现性能衰退、元件损坏等问题，导致传感器可靠性降低。一旦传感器故障，不仅会影响设备运行状态监测，还可能引发安全隐患。为保障传感器正常运行，需定期进行校准、维修与更换，而高精度智能传感器价格昂贵，维护过程涉及专业技术人员与设备，导致维护成本居高不下，增加了企业应用智能传感技术的经济负担。

### 4.2 应对策略

#### 4.2.1 加强传感器防护与优化设计

针对复杂环境干扰，采用先进的材料与制造工艺对传感器进行防护与优化设计。选用耐高温、耐腐蚀的特种材料制作传感器外壳与敏感元件，提高传感器对恶劣环境的耐受性；通过优化传感器结构设计，增强其抗振动、抗冲击能力。采用电磁屏蔽、滤波等技术，降低电磁干扰对传感器信号的影响，确保传感器在复杂环境下

能稳定、准确地采集数据，提升传感器的环境适应性与可靠性<sup>[4]</sup>。

#### 4.2.2 提升数据处理与分析能力

引入大数据、人工智能等先进技术提升数据处理与分析能力。利用大数据技术对海量多源异构数据进行高效存储与管理，通过数据清洗、特征提取等预处理，去除噪声与冗余信息，挖掘数据特征。结合机器学习、深度学习算法，构建智能化故障诊断模型，自动学习设备正常与故障状态下的数据特征，实现对设备故障的精准识别与预测。通过不断优化算法与模型，提高数据处理效率与故障诊断的准确性，充分发挥智能传感数据的价值。

#### 4.2.3 降低传感器维护成本

为降低传感器维护成本，第一，可通过优化传感器设计，提高其集成度与模块化程度，便于故障快速定位与更换；采用自诊断、自校准技术，使传感器能实时监测自身状态，及时发现潜在故障，减少定期维护频次。第二，建立传感器全生命周期管理系统，通过对传感器运行数据的分析，预测其性能衰退趋势，制定合理的维护计划，避免过度维护。推动传感器国产化，降低对进口产品的依赖，从而降低采购与维护成本，提高智能传感技术应用的经济性。

### 结语

综上所述，智能传感技术在石油化工设备故障诊断中展现出强大的应用潜力，通过对设备关键参数的实时监测与分析，实现了故障的早期预警与精准诊断，有效降低了设备运行风险。尽管在实际应用中面临环境干扰、数据处理等挑战，但通过针对性的策略优化，为技术的进一步发展与应用奠定了基础。未来，随着技术的不断创新，智能传感技术将在石油化工领域发挥更重要的作用。

### 参考文献

- [1]林晓蕾.智能传感技术在电力线路巡检系统中的应用[J].电子技术,2024,53(12):204-205.
- [2]纪长杰,马文亮.智能传感技术在带式输送机状态监测中的应用[J].电脑校园,2023(38):94-96.
- [3]刘鹏.石油化工仪表设备智能维护与故障诊断技术研究[J].中国石油和化工标准与质量,2024,44(8):10-12.
- [4]姜志国,雷广东,吕景荆.石油化工离心式压缩机故障诊断系统设计应用研究[J].石油和化工设备,2021,24(4):76-78.