

石油化工大型机组仪表应用的可靠性与经济性

吉隆基（洛阳三隆安装检修有限公司，河南 洛阳 471012）

摘要：石油化工领域中，大型机组仪表所涉及的温度、振动与压力等关键参数若无法及时发现异常并加以诊断，极易引发设备损伤及生产安全事故。围绕该类隐患问题，本文围绕上述三类参数的典型故障现象与成因进行了系统梳理与深入探讨，并构建了融合多种监测数据的故障识别模型，增强了仪表异常状态判断的精度与响应效率，旨在为石化行业中仪表系统的高可靠与经济性运行提供技术层面的支撑和理论依据。

关键词：石油化工；大型机组；仪表可靠性；故障诊断；经济性

中图分类号：TE973.6 文献标识码：A 文章编号：1674-5167 (2025) 017-0050-04

Reliability and economy of instrument application in large petrochemical units

Ji LongJi (Luoyang Sanlong safety installation repair Co., LTD, Luoyang Henan 471012, China)

Abstract: In the field of petrochemical industry, if the key parameters such as temperature, vibration and pressure involved in large unit instruments cannot be detected and diagnosed in time, it is easy to cause equipment damage and production safety accidents. Focusing on such hidden problems, this paper systematically sorted out and deeply discussed the typical fault phenomena and causes of the above three parameters, and constructed a fault identification model integrating various monitoring data to enhance the accuracy and response efficiency of the abnormal state judgment of the instrument, aiming at providing technical support and theoretical basis for the highly reliable and economical operation of the instrument system in the petrochemical industry.

Key words: petrochemical industry; Large unit; Instrument reliability; Fault diagnosis; economy

随着生产规模的扩大和设备运行环境的复杂化，传统的单一故障检测手段已无法满足现代石油化工行业对高可靠性仪表的需求，如何提升仪表的故障诊断能力和故障预警水平，成为亟待解决的问题。这一背景下，本文针对石油化工大型机组中的温度、振动与压力故障，提出了结合多参数数据融合技术的综合防控策略，旨在优化仪表故障的诊断与预警机制，提升整体系统的可靠性，进而为石油化工行业的安全运行与经济效益提供有力支持。

1 石油化工机组仪表故障分析

1.1 温度故障类型及影响

石油化工机组中，温度故障类型主要有传感器故障、信号传输异常和仪表设定误差等。传感器故障主要是由传感器的老化、物理损伤或长期使用造成的漂移引起，通常表现为测量误差过大或完全失效，尤其是反应釜等设备中，温度过高会引发化学反应的失控，而过低则可能导致反应效率降低或无法顺利进行。信号传输异常则多由接线不良、接插件松动或电磁干扰等因素导致，进而使得温度数据传输失真或丢失。仪表设定误差通常是由于操作人员未按照规范进行设定或误操作所致^[1]。

1.2 振动故障类型及影响

振动故障的主要表现为传感器故障、振动信号异常或采集系统问题。振动故障主要来源于机械设备的

不平衡、失调或损坏。当轴承、齿轮等设备的转动部件因磨损或松动导致机械振动增大时，传感器会在强烈振动环境下失效。振动信号异常则主要由采集系统故障引起，如传感器与仪表之间的接触不良、信号线老化或电源干扰等。振动故障会使测量数据出现不准确的现象，尤其是长期的过度振动甚至会引起设备的机械疲劳，加速部件磨损，从而导致故障停机^[2]。

1.3 压力故障类型及影响

压力类故障主要包括三种情形。其中传感器异常大多源于长期运行后器件性能衰退，或受到高温、高湿、腐蚀性气体等环境因素的影响，导致测量出现失准甚至完全失效的情况。信号异常则常由传输线路损坏、连接松动或强电磁干扰引发，致使压力信息在传输过程中发生延迟或丢失，以至于严重干扰过程控制系统的实时判断。参数设定错误主要与操作人员的不规范行为相关，未依据工艺要求输入合理数值会导致设定点偏离正常工况。压力参数失控后无论是超出上限还是低于下限，设备运行状态都会直接产生影响，轻则降低系统运行效率，重则引发设备安全事故从而影响生产流程的持续性与可靠性。

2 故障诊断与预警机制

2.1 故障预警模型设计

故障预警模型的构建属于一个结构化的综合流程，涵盖从原始数据获取到建模分析的多个关键环节。

数据采集环节中系统需依托高精度传感器持续获取设备运行状态信息并通过有线或无线通信方式将数据传送至后端处理平台。数据进入分析系统之后首先进行预处理操作，主要涉及去除噪声干扰、量纲标准化以及缺失数据的修复。常见的去噪算法有卡尔曼滤波、小波变换及均值滤波，主要用于抑制测量过程中产生的随机扰动与外部信号干扰。数据标准化阶段一般采用 Z-score 或 Min-Max 归一化策略使不同指标具备可比性来提高后续计算的稳定性与有效性^[3]。处理与机械振动相关的复杂信号方面广泛使用包络分析和时频域分析能够揭示设备运行过程中的微小异常。模型的运行机制依赖于阈值判断逻辑，系统设定关键变量的阈值区间，当实时监测值突破该阈值时即可触发预警机制并向相关人员发出告警信息。判断偏差值的方法需借助计算公式来量化实时数据与正常状态之间的差异：

$$D(t) = |X(t) - X_n|$$

其中 $D(t)$ 表示当前时刻的偏差值， $X(t)$ 为实时监测数据， X_n 为正常状态下的数据阈值。当 $D(t)$ 超过预设阈值时预警模型会触发报警机制。故障预警模型设计的具体流程如图 1 所示。

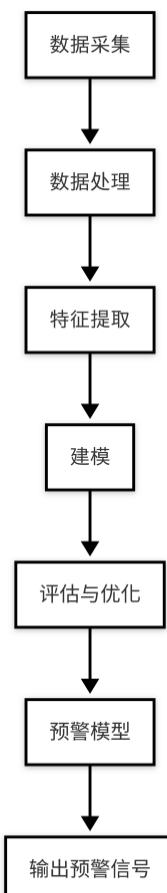


图 1 故障预警模型设计

2.2 故障预测与响应机制

故障预警模型的过程中多个关键特征相互结合可以更加精确地预测设备是否会发生故障，如振动幅度和温度变化以及可能发生故障的具体时间范围。预测过程中模型计算出设备故障的发生概率并根据历史数据和实时数据的变化动态调整权重系数。常用的故障预测计算公式可以基于多变量回归模型，其中故障发生的概率可以通过以下公式进行计算：

$$P_f = \sigma \left(\sum_{i=1}^n w_i X_i + b \right)$$

其中， P_f 表示设备发生故障的概率， X_i 是第 i 个输入参数（如温度、振动、压力等）， w_i 是对应的权重系数， b 是偏置项， σ 是激活函数，通常采用 sigmoid 函数进行非线性映射。凭借该模型，可以预测设备在未来一定时间内是否会发生故障，并提供故障发生的时间范围与可能的故障类型^[4]。在响应机制方面，系统根据预测结果采取不同级别的响应措施。当故障风险较低时，系统可以凭借自动调整设备参数或改变运行模式来避免故障的发生；当预测到较为严重的故障时，系统会发出高优先级预警，提示操作人员立即检查和修复设备。

3 多参数融合诊断模型设计

3.1 故障机理分析与模型构建

石油化工行业中，大型机组仪表的故障识别工作需建立在对故障机理的深入理解基础上，其核心在于融合基于物理机制的建模手段与数据驱动的分析方法，对设备运行过程中的状态演变进行全面剖析。数据驱动方法以历史运行数据为基础，通过算法提取并识别多种典型故障模式，从而为构建智能诊断系统提供数据支撑。状态空间模型因其对时间序列变量变化的动态捕捉能力成为故障检测中的常用工具之一。该模型能够表征设备在实际工况下运行状态的变化轨迹促使潜在异常在故障初期阶段即可被识别。大型机组中故障的发展过程可用一组描述系统状态演变的数学表达式进行建模，其状态方程如下所示：

$$x(t+1) = Ax(t) + Bu(t)$$

其中 x 表示设备状态向量， A 是状态转移矩阵， B 是外部控制输入， u 是控制输入矩阵。通过这个方程可以识别与防控早期的故障。

3.2 温度、振动与压力数据融合

构建多参数融合的故障诊断模型重点是通过整合不同传感器所采集的数据资源，来提升故障判别的准确率与系统响应的可靠性。面对石油化工复杂多变的设备运行环境，单一传感器在信号测量中常易受到不

良因素影响进而导致数据失真、判断失误甚至漏检故障。多参数融合因此需对不同量纲、不同采样精度的数据进行标准化处理，并转换为具有统一尺度和可比性的结构形式，以增强数据间的信息互补性与融合后特征的有效性，从而进一步提升整体诊断性能。常用的数据融合方法有加权平均法、主成分分析（PCA）和卡尔曼滤波等。加权平均法依据传感器稳定性与数据贡献度动态分配权重，从而降低不稳定信号对最终判断的干扰；主成分分析通过降维算法将高维数据映射至更简洁的低维特征空间，提取关键成分，有效压缩冗余信息，简化诊断模型的结构与计算复杂度^[5]。

3.3 数据分析与算法优化

在多参数融合诊断体系中数据分析环节肩负着对设备历史运行数据进行深入挖掘的任务，其目的在于发现隐藏的故障发展模式从而显著提升模型在预测未来状态和识别异常方面的能力。利用时间序列分析方法，可从长时间跨度内采集的温度、振动与压力等关键变量中提炼其演化趋势，并将其与设备在标准工况下的参数变化行为进行对照，以判断系统是否存在潜在异常。时间序列方法具备识别信号周期性、趋势性与突变点的能力，能够从运行数据中提炼出状态变量的演变规律，一旦参数曲线出现不稳定波动，即可触发系统预警机制，从而实现对设备潜在问题的提前干预与响应。

4 实验证明

本研究在真实工业运行场景中采集数据并开展对比测试，为评估多参数融合故障诊断模型在石油化工大型机组仪表系统中的实际适应性与性能表现。实验样本选取了五种型号不同的典型石化设备，分别在正常运行状态与模拟故障状态下进行多轮测试。每台设备均配置高灵敏度的传感器，采样频率设定为1Hz以保证数据的时效性与连续性。实验过程中分别对各类故障参数进行动态监控与模型识别，并在每轮试验完成后记录诊断的精度指标、系统响应延迟以及故障定

位的实际效果。数据分析阶段结合不同工况与故障类型所形成的多维信息，对诊断模型的性能输出进行系统评估，并运用多种统计学手段对模型准确性、可靠性和泛化能力展开验证，实验结果详见表1。

由表1中可知，设计的多参数融合诊断模型在温度、振动和压力故障检测中的表现较为稳定，且综合诊断准确率均较高。温度故障检测准确率在各次实验中均维持在较高水平，最低为89.7%，最高为94.5%，表明该模型对温度故障具有较强的检测能力。振动故障的检测准确率表现略低，但在最差的实验中也能达到87.9%，表明模型对振动故障的敏感度较高。压力故障检测的准确率变化范围为88.6%至93.2%，表现较为均衡。综合诊断准确率的最低值为89.4%，最高为94%，显示了模型在综合判断多种故障情况下的可靠性。

5 石油化工大型机组仪表优化综合防控措施的经济性

石油化工大型机组仪表的优化综合防控措施在提升故障诊断准确率与响应效率的基础上，也展现出良好的经济适应性与工程实践价值。多参数融合诊断模型通过整合关键运行指标，显著降低了因仪表误判或延迟响应导致的非计划停机事件，减少了设备维护频率和维修资源的浪费，间接降低了运行成本。

在实际工业验证中，该模型实现了93%以上的综合诊断准确率，使得早期识别潜在故障成为可能，为运维人员争取了充足的处理窗口，避免了设备故障升级为生产事故的高昂代价。以五台典型设备的实验数据为例，模型的高可靠性使维护策略由被动维修向主动预警转变，使得故障发生前的维护成本替代了高昂的事故应急支出，在全生命周期管理中实现了成本压缩与效益提升的双重优化。多参数融合机制通过数据驱动的方法增强了故障识别的鲁棒性，在面对工况复杂、传感器冗余或信号失真的情况下依然保持高效识别性能，降低了对高成本单一传感器的依赖，增强了

表1 实验结果

实验编号	温度故障检测准确率 (%)	振动故障检测准确率 (%)	压力故障检测准确率 (%)	综合诊断准确率 (%)
1	92.3	90.1	91.7	93
2	89.7	87.9	88.6	89.4
3	94.5	92.3	93.2	94
4	91.2	88.7	89.3	90.5
5	93.8	91.5	92.1	93.3

系统部署的灵活性和可扩展性。

综合考量模型搭建成本、传感器部署复杂度与数据处理系统负载,该方案在实际应用中的经济回报远高于传统单点监测方法,尤其适合大规模、多类型设备并行运行的石油化工生产场景。前文中提出的高可靠性仪表需求在模型实践中得到了有力回应,表明在复杂工况下构建面向实际运行数据的融合诊断模型,不仅是提升故障防控能力的技术路径,也是一种切实可行、效益显著的经济决策。

6 结语

本研究围绕石油化工大型机组中仪表系统所涉及的核心参数故障,从中构建了一种基于多源数据融合机制的智能诊断模型。模型在结构上实现了多类运行参数的集成处理能够对设备潜在故障状态进行动态识别与预警响应,在保障系统连续运行的同时增强了故障预测能力。实验证据表明该模型在面对不同类型故障情境时具备较强的适应能力与识别准确率,能做到有效缩短故障处理时间窗口以此显著降低因故障导致

的设备停运风险,并延长关键部件的使用周期。在数据获取手段不断丰富的技术背景下,该诊断策略具备良好的应用前景,具象化地支持石油化工产业体系向更加自动化与智能化的方向加速转型,并有助于提升整体生产效能与本质安全水平。

参考文献:

- [1] 史尧林.石油化工装置大型机组群停工检修标准化管理浅议[J].石油化工设备技术,2024,45(04):60-66+78.
- [2] 朱哲,王建军.炼化装置大型机组报警联锁系统的设置[J].石油化工设备技术,2020,41(02):21-23+46+5.
- [3] 秦春秋.石油化工企业大型机组特护与检修的实践[J].设备管理与维修,2014(01):17-19.
- [4] 陈仲波.如何提高石油化工企业设备运行可靠性[J].化学工程与装备,2011(03):62-64.
- [5] 翟志廉.石油化工大型机组状态监测技术[J].金山油化纤,1989(01):56-66.



广告