浅析化工仪表故障维护措施

李云坤　吕行　王维栋

山东天弘化学有限公司

摘要：化工仪表在流程工业生产中发挥着关键的监测与控制作用，其运行状态直接关系到工艺过程的安全与稳定。由于现场环境复杂、运行负荷大，仪表系统常出现各种故障，如传感器失效、信号传输异常、变送器漂移等。本文梳理了典型的化工仪表故障类型，探讨了基于方差分析的故障诊断方法，介绍了系统化的维护策略，并结合实际应用实例，验证了快速诊断与科学维护在提升仪表系统稳定性与可靠性方面的重要作用，为化工企业仪表管理提供了参考与借鉴。

关键词：化工仪表；故障类型；方差分析；故障诊断；维护措施

化工生产过程高度依赖自动化控制系统，其中化工仪表作为核心组件，承担着对温度、压力、流量、液位等关键工艺参数的实时监测与反馈控制任务。本文结合实际案例，对化工仪表的故障成因、诊断手段及维护措施进行了系统梳理与分析，旨在为仪表维护人员提供可借鉴的技术参考。

1　流程工业的仪表快速故障检测方法

1.1　化工仪表常见故障类型

化工仪表在长期运行中易出现多种故障，主要包括传感器故障、信号传输故障、变送器异常、执行器失效及电源接地问题。传感器故障常表现为测量值漂移、信号丢失或严重偏离实际工况；信号传输故障主要由线路接触不良、老化或电磁干扰引起，导致信号畸变或中断；变送器故障通常与环境温湿度、电源不稳等因素相关，会出现输出不稳定或零点漂移现象；执行器故障则体现在控制响应迟缓或卡滞，影响调节过程；电源接地问题可能导致仪表系统整体功能失常，诱发连锁性故障[1]。这些故障若处理不及时，将对生产安全与产品质量产生显著影响，因此必须被准确识别与快速响应。

1.2　方差分析法概述与诊断原理

通过对大量传感器数据的方差特征分析，可以实现对仪表运行状态的评估与故障的快速检测。由于仪表信号在正常与异常状态下具有不同的波动特征，统计分析这些波动的变化趋势，便可识别潜在故障。方差分析方法具有原理简单、计算效率高、适用性强等优点，尤其适用于大量数据的快速处理，因而在流程工业的实际应用中具有较高的实用价值[2]。在具体应用中，首先需对采集的信号数据进行预处理，剔除异常点和干扰信息，然后通过移动窗口计算方差，判断当前仪表是否处于正常运行状态。该方法核心在于利用方差作为判断指标，根据统计特征实现对仪表异常的初步诊断，并可进一步作为故障类型识别的辅助依据。

在流程工业中，采集到的工业数据往往存在噪声大、波动大、不完整等问题，因此在进行方差分析前，必须对原始数据进行合理预处理。预处理的主要目的是剔除异常值，保证后续分析的准确性。常见的预处理方法包括对数据序列进行差分运算，计算相邻时间点的数据变化量，构建差分时间序列，从而平滑数据波动，突出异常变化。为了提高对异常变化的敏感性，还需要设置滑动窗口，选取一定数量的差分值进行统计分析。通过对比差分值的分布特征，可判断数据波动是否正常，为后续的方差估计提供稳定的数据基础。这一系列预处理步骤，旨在提升诊断系统对故障信号的识别能力。滑动窗口方差估计是对数据序列中局部信号波动进行量化分析的有效手段。通过设定固定长度的时间窗口，计算窗口内数据的均值与方差，从而反映当前仪表的波动强度。

样本方差越大，表明仪表信号波动剧烈，可能存在管线堵塞、传感器失效等故障；方差越小，则可能表示仪表灵敏度下降、响应迟缓等问题[3]。方差估计的结果对判断仪表当前的健康状态具有重要意义，尤其在实际运行过程中，及时发现方差异常变化，可以为故障预警提供关键依据。由于其计算简便、响应迅速，滑动窗口方差估计在流程工业的大数据处理与故障诊断中得到了广泛应用。

为了实现对仪表运行状态的有效判断，需要设定一个合理的方差变化范围，即方差区间。该区间通过历史正常数据的统计分析获得，反映仪表在稳定

运行时的波动范围。当检测到实时方差值超出该区间，即可判断仪表处于异常状态，并进一步分析可能的故障类型。设定合理的方差上限与下限，有助于提高诊断的准确性与敏感性，避免误报或漏报。

由于不同仪表的方差波动范围受工况、环境等多种因素影响，因此需针对具体设备设定其个性化的诊断阈值。通过动态调整阈值，可提升系统对不同工况下故障的适应能力，实现对复杂工业现场的精准诊断。

1.3 仿真研究与诊断结果

为验证方法有效性，选取某催化裂化装置中的典型反应单元 AD1401 进行数据采集与分析。该装置工艺复杂，控制要求高，仪表系统对反应稳定性具有关键影响。图 1 展示了该过程的主要控制点与数据采集点布局，为方差分析提供了清晰的背景参考。

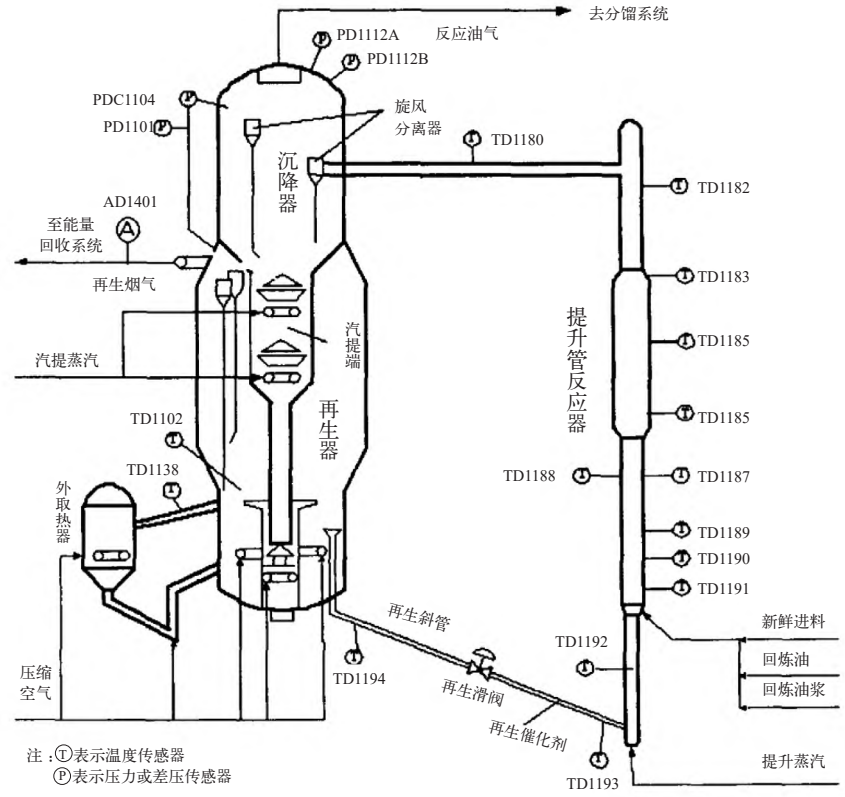


图 1 催化裂化装置再生反应部分工艺图

表 1 AD1401 故障详细情况

故障编号	故障类型	开始时间	结束时间
1	仪表坏	2024/4/6 0:00	2024/4/7 0:00
2	指示失灵	2024/4/11 0:00	2024/4/14 0:00
3	出口阀处有砂眼	2024/6/7 0:00	2024/6/11 0:00
4	采样口泄漏	2024/6/20 0:00	2024/6/22 0:00

表 1 列出了该仪表在不同时间段发生的故障类型及起止时间，为诊断方法的评估提供了准确的历史数据支撑。

以 AD1401 的“采样口堵塞”故障为例，采用方差法对历史数据进行分析。首先通过历史正常数据进行方差区间学习，得出上下限值，如图 2 所示，明确了诊断阈值。对原始数据进行差分与方差估计，结合滑动窗口技术，成功识别出故障发生时间及严重程度，相关结果展示于图 3。

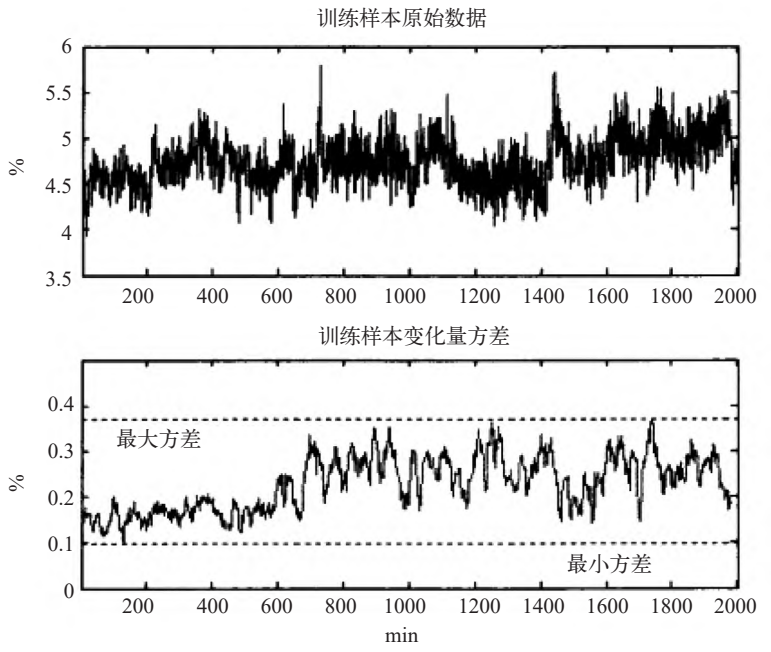


图 2 AD1401 的方差区间学习结果

针对 AD1401 的故障状态，系统采用整数编码的方式进行表示。具体定义如下：数值“0”代表仪表运行正常；“1”表示仪表波动幅度增大；“2”表示仪表波动偏离正常范围；“–1”表示波动幅度开始减小；“–2”则表示仪表反应迟钝或失灵。诊断判据基于此数值体系，并将检测结果如图 4 所示进行了可视化展示。

系统还对 AD1401 历史上记录的典型故障进行了检测与分析，包括故障 1（仪表坏）、故障 2（指示失灵）以及故

障 3（出口阀处有砂眼）。各类故障的检测效果分别如图 5 所示，图示清晰呈现了不同故障状态下仪表信号变化与诊断结果。

2　仪表故障检测系统的开发与应用

2.1　系统功能架构与核心模块

针对流程工业复杂的仪表系统运行需求，开发高效、实用的仪表故障检测与诊断系统已成为提高企业信息化管理水平的重要环节。系统须具备全面的过程数据采集、智能分析、实时诊断和结果展示功能，实现对仪表状态的全面监控 [4]。涵盖了数据采集与预处理、智能数据分析与监视、故障诊断、报警控制及人机交互等功能模块。数据采集与预处理模块是系统的基础环节，负责对工业现场的实时数据进行采集与初步处理，确保数据质量。智能分析模块对采集数据进行趋势判断与状态评估，为后续故障诊断提供依据。故障诊断层结合数据模型与统计方法，对仪表异常进行快速识别与分类判断，并通过报警控制层及时发出警报（报警记录见图 6），实现闭环控制。人机界面则为操作人员提供直观、实时的信息展示，提高现场响应效率。

2.2　系统功能实现与核心模块

系统设计聚焦于数据分析与故障诊断，支持实时故障判断与历史数据查询。系统软件结构涵盖了数据采集、分析处理、结果存储与远程访问等功能模块 [5]。

在数据采集方面，系统采集流程如图所示，用户通过 PHD 对象构建扫描点，实现对关键仪表的实时监控。采集结果写入数据库，并用于后续诊断分析。故障诊断算法基于方差分析方法，主要包括历史数据学习、实时数据差分、滑动窗口方差计算以及结果判断等步骤。

2.3　系统开发与网络部署方案

在实际应用中，选用 Uniformance 系统作为数据平台，建立了完整的故障检测网络。Uniformance 系统由工厂历史数据库（PHD）、工艺参考模型（PRM）及桌面应用（Desktop）组成，支持数据的集中采集、存储与远程访问。为实现数据的统一管理与快速传输，构建了三层次的网络结构，分别为办公网、管理网与工程网，各层通过 PHD Buffer、Web Server 等进行互联，实现数据高效传递。

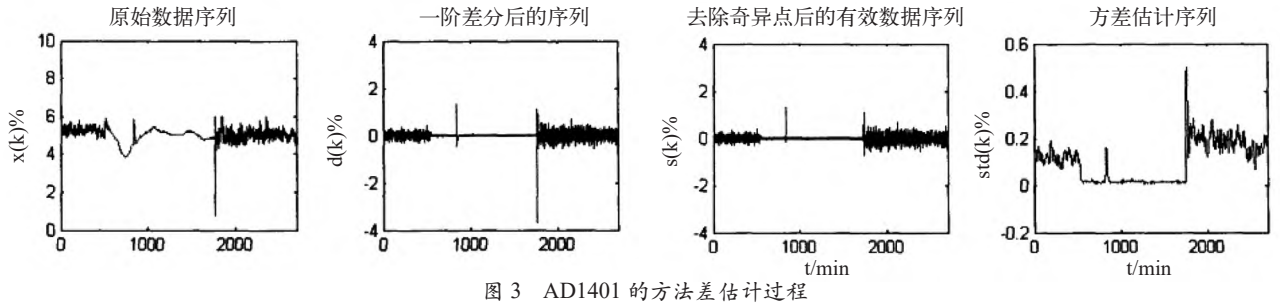


图 3　AD1401 的方法差估计过程

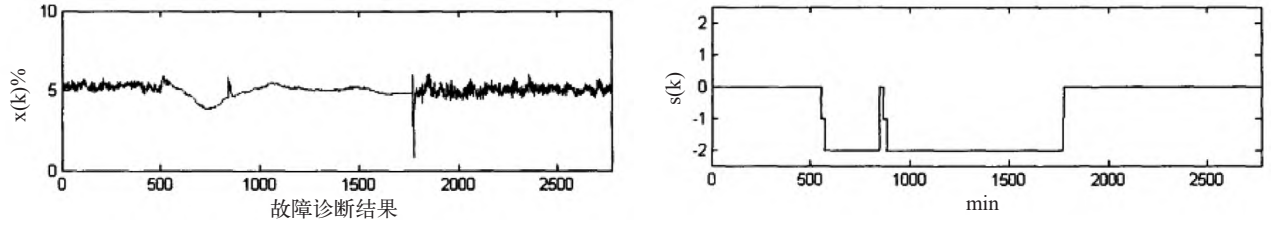
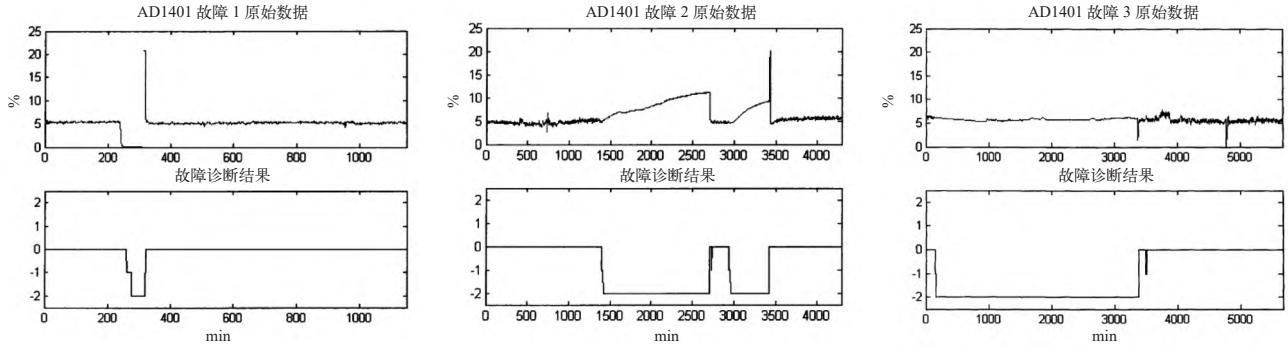


图 4　AD1401 的故障 4 检测结果



（a）　AD1401 的故障 1 检测结果　　（b）　AD1401 的故障 2 检测结果　　（c）　AD1401 的故障 3 检测结果

图 5　故障检测结果

图 6　报警管理中报警记录

3　仪表故障检测系统应用效果与维护措施

3.1　工业现场运行效果与应用实例

该仪表故障检测与诊断系统自 2021 年 11 月初正式投运以来，已在现场稳定运行多年，显示出良好的适用性与可靠性。系统基于炼油厂 PHD 服务器采集生产数据，通过诊断服务器进行处理，并将结果实时发布至办公网用户，实现了仪表状态的智能监控与集中管理，显著提升了现场仪表故障响应效率。

系统已在催化裂化装置（FCCU）反应再生系统中得到典型应用。该装置工艺流程复杂，包含反应器、分离器及再生器等多个关键单元，仪表种类多、数据量大，对仪表监测的实时性和准确性要求极高。

在实际运行中，反应再生系统中涉及大量气体输送与催化剂循环，对温度、压力、流量等参数监控至关重要，任何仪表的故障均可能影响反应效率与产品质量。系统采用方差分析法，实现了对关键仪表信号的异常识别与诊断判断，尤其在处理催化剂再生、烟气循环、油气分离等工艺环节，能够快速发现如传感器漂移、信号异常波动等问题，有效避免了生产故障与安全隐患。

3.2　日常维护要点与典型案例

为确保仪表系统长期稳定运行，应建立完善的日常维护机制。维护工作应覆盖多个方面：首先，应定期对仪表进行校验，重点包括量程、零点及灵敏度的检测，以保障测量精度；其次，应开展现场巡检与清洁作业，及时排除因外观污染、接线松动等引发的隐患；应定期检查信号链路，排查接触不良或电磁干扰等问题，以提升信号传输的稳定性；最后还应对诊断系统的软件与数据定期更新、备份，确保系统运行的高效性与数据的安全性。

在实际应用中，维护工作的有效性得到充分体现。如某化工厂在高温季节频繁出现温度计读数漂移的问题，最终查明为传感器热保护层受损所致，修复后故障彻底消除。另有案例显示，某压力变送器信号长期异常，排查发现因接地线松动导致信号受干扰，经紧固后恢复正常。这些案例说明，科学合理地维护不仅有助于防止故障发生，更能提升仪表系统的整体可靠性与使用寿命。

3.3　仪表报警管理—某公司实际案例运行情况

通过对化工仪表故障诊断技术及维护措施的研究与分析，本文提出了一套集故障识别、系统开发与现场应用为一体的综合性解决方案。从典型故障类型的归纳、方差分析法的引入，到系统开发实施与应用实例验证，均体现了故障诊断与维护工作的系统性与实效性。随着流程工业对自动化与智能化水平要求的不断提高，传统的维护方式已难以满足快速响应与精准判断的需求。化工仪表的故障管理将朝着更高程度的信息化与智能化方向发展，依托大数据与智能算法实现故障的动态监测与趋势预测，实现从被动应对向主动预警的转变。系统性的维护理念与智能化的诊断工具将共同助力企业实现设备管理的精细化与高效化，为安全生产提供更为坚实的保障。

4　结语

本文围绕化工仪表在流程工业中的故障维护问题，梳理了常见故障类型及成因，探讨了基于方差分析的故障检测方法，并提出了系统性的日常维护要点。通过实际案例分析，验证了科学诊断与规范维护对提升仪表可靠性与故障响应效率的显著作用。随着工业智能化水平的提升，仪表维护将逐步向智能诊断与远程监控方向发展，实现从“事后修复”到“预测预警”的转变，为化工生产的安全与高效提供坚实保障。

参考文献：

[1] 齐明轩 . 浅析化工仪表自动控制系统的故障和维护 [J]. 中国设备工程，2025(05):54-56.

[2] 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(08):10-12.

[3] 赵来幸 . 浅谈在线分析仪表在化工厂安全方面应用技术 [J]. 流程工业，2023(07):20-23+27.

[4] 黄传玉 . 化工仪表自动控制系统的故障和维护 [J]. 仪器仪表用户，2024, 31 (01):51-53.

[5] 马英 . 化工仪表维护与故障检修的思路及措施探讨 [J]. 化工管理，2023 (28):121-123+130.