

基于经济视角的 AI 加持下的化工仪表预测性维护探究

杨永青（内蒙古中煤远兴能源化工有限公司，内蒙古 鄂尔多斯 017307）

摘要：化工行业作为国民经济的支柱产业，其生产过程的连续性与稳定性至关重要。化工仪表作为生产过程中的“眼睛”与“触角”，对工艺参数的精准监测与控制起着关键作用。随着人工智能（AI）技术的快速发展，化工仪表的维护模式正经历着革命性变化。从经济视角看，AI 在化工仪表的预测性维护方面展现了巨大的潜力，尤其在故障预测、性能优化和设备寿命延长等方面取得了显著成果。通过 AI 技术，能够实时监控仪表的运行状态，精准预测潜在故障风险，从而减少停机时间和维护成本，提高生产过程的安全性和效率。此外，智能化系统能够持续学习并优化维护方案，实现从传统的定期检查到智能维护的转变。这些创新成果为化工行业提供了更为高效、可靠的仪表管理方案，推动了智能化工厂的建设发展。

关键词：AI；化工仪表；预测性维护

中图分类号：TQ056.16；TP183

文献标识码：A

文章编号：1674-5167（2025）028-0082-03

Exploration of Predictive Maintenance of Chemical Instruments with the Support of AI from an Economic Perspective

Yang Yongqing (middling coal Yuanxing Energy Chemical Co., Ltd., Ordos, Inner Mongolia 017307, China)

Abstract: As a pillar industry of the national economy, the continuity and stability of the production process in the industrial sector are crucial. Chemical instruments, as the “eyes” and “antennae” in the production process, play a crucial role in the precise monitoring and control of process parameters. With the rapid development of artificial intelligence (AI) technology, the maintenance mode of chemical instruments is undergoing revolutionary changes. From an economic perspective, AI has shown great potential in predictive maintenance of chemical instruments, particularly in achieving significant results in fault prediction, performance optimization, and equipment lifespan extension. Through AI technology, it is possible to monitor the operational status of instruments in real-time, accurately predict potential fault risks, thereby reducing downtime and maintenance costs, and improving the safety and efficiency of the production process. In addition, intelligent systems can continuously learn and optimize maintenance plans, achieving a transition from traditional regular inspections to intelligent maintenance. These innovative achievements provide more efficient and reliable instrument management solutions for the chemical industry, promoting the construction and development of intelligent chemical plants.

Keywords: AI; Chemical Instrumentation; Predictive Maintenance

从经济视角看，AI 加持的化工仪表预测性维护通过精准故障预判、资源优化配置、风险成本转移三大核心机制，重构了传统维护模式的成本收益结构。利用人工智能可以对化工仪表设备运行状况进行大数据分析、智能化学习与数据感知，在日常维护过程中实时进行采集数据分析，预测仪表设备存在的故障并提早进行针对性的调整与优化，从而大大降低了维护成本，提高了设备的可靠性，并且延长了仪表设备的使用寿命。此外，利用人工智能在仪表的维护过程中，可以对流程进行科学优化，并对不必要的检修、维修进行抑制，从而有效降低了企业的开支成本，减少了大量人力、物力的投入。

1 AI 及化工仪表基础解读

1.1 AI 技术精髓剖析

人工智能的核心，并非是其算法和计算能力，而是赋予机器类人的学习和决策能力。其核心是通过海量数据进行分析，发现隐藏其中的规律并基于该规律进行实时决策。其依托于机器学习和深度学习算法，

使计算机可以通过对海量数据的分析和计算，找到其中隐含的规律。将机器智能带入到化工仪表的维护中，不仅仅是在故障检修前作出判断，更重要的是让机器在不断地学习、适应中，通过掌握各类规律去实时预判当前设备的运行情况，并自动修正当前状态。可以说，设备不是单纯的机器了，而有了自主判断和自我调试的意识和能力，通过改变当前的工作状态适应环境变化。这种能力，是依赖对海量数据的分析和算法的精准有效应用而得来的，可实时监控设备的任何细微变化。将维护工作前置化，让维护工作更加精准、快速、前瞻，有效提高整体运行效率和设备可靠性水平。

1.2 化工仪表运行基础

新兴技术的发展与智能化仪表的出现，能够对运行设备进行准确监测，实时地检测并且记录每个仪表本身的参数的变化，以实现提前预估潜在故障，给维护人员提供有效的维护建议参考，及时修复潜在的故障隐患，保障安全生产。化工仪表运行主要依赖精准

的数据记录和处理能力,如今引入人工智能,将极大提高仪表的运行稳定性和安全性,其能够实时监测每一项数据,实时预测未来可能出现的问题并加以解决,避免发生设备停机及生产中断事故。

2 AI 在化工仪表维护的多元应用

2.1 故障风险精准预判

通过 AI 技术打造的化工仪表故障维护系统可以预知未来设备的运行情况,这是其最大特点,借助于机器学习,AI 可以根据系统中设备的运行数据,对于设备运行中出现的细微变化进行判断,并利用多次积累的数据预测该设备可能出现的故障,这些是传统故障预警方式所不具备的,依靠经验进行判断只能进行维修“亡羊补牢”,AI 可以分析设备运行数据、外界环境以及故障数据,通过建立有效的故障预测模型,就可以判断出潜在的故障预警风险,从而作出预警,在正常运行中具备条件时及时对故障进行修复,降低设备故障发生的机率。这可以大幅提高设备的稳定性,进一步提高化工生产的持续稳定性和安全性,同时 AI 还可以动态性学习分析其预测算法,随着数据增多和学习算法的改进,人工智能可以对未来设备故障风险判断更加精准。

2.2 仪表运行全程监控

全程监控,目前针对化工仪表的监控主要是依靠 DCS 系统的实时监控功能,对单一数据进行采集记录,这种方式并不能实现全部数据的集中分析,且覆盖面和高度有限,AI 的全程监控可以让每一个仪表的运行情况都在最短时间被记录和处理,不论温度、压力、流量都可以在瞬时被采集,并与历史数据及其他相关参数进行综合对比,能及时发现与正常运行数据存在偏差的数据,并发出提示。

2.3 智能优化仪表性能

优化不再停留在对故障预知上,而是基于对运行数据的分析,调优设备运行状态,提升设备性能。AI 基于化工仪表的实时监测和历史数据,可得出设备性能的潜力不足因素和不稳因素,并通过调优运行策略来加以弥补。

3 经济视角下的效益分析

3.1 减少非计划停机损失

化工生产过程一旦因仪表故障发生非计划停机,将带来巨大的经济损失。包括生产停滞导致的产品产量减少、原材料浪费、设备重启成本以及可能的订单延误赔偿等。据统计,化工企业平均每次非计划停机损失可达数十万元至上百万元不等。AI 加持下的预测性维护通过提前预测仪表故障,使企业能够在故障发生前安排维修,有效减少非计划停机次数。如某大型

化工集团实施预测性维护方案后,非计划停机次数降低了 50% 以上,每年减少经济损失数千万元。

3.2 优化维护资源配置

传统定期维护模式往往按照固定周期对仪表进行全面检修,不论仪表实际运行状况如何,这导致了大量不必要的维护工作与资源浪费。预测性维护根据仪表的实际健康状态安排维护任务,避免了过度维护。通过精准定位故障仪表与故障类型,合理调配维护人员与备件资源,提高了维护资源的利用效率。例如,某化工企业在采用预测性维护后,维护人员的工作效率提升了 30% 以上,备件库存周转率提高了 20%~30%,降低了备件库存成本与维护人工成本。

3.3 延长仪表使用寿命

仪表故障往往会导致其过早报废,增加企业的设备采购成本。预测性维护通过及时发现并处理仪表潜在故障,避免了故障的进一步恶化,从而延长了仪表的使用寿命。以某品牌的压力变送器为例,在实施预测性维护前,其平均使用寿命为 5~7 年,实施后,使用寿命延长至 8~10 年,减少了设备更新换代的频率,降低了企业的长期投资成本。

4 基于 AI 加持下的化工仪表预测性维护

4.1 维护流程重塑要点

在传统化工仪表的维护过程中,是以被动式为主,主要依靠定期检查、人工判断的方式。这种方式下,很难做到有的放矢,一旦维护不及时,容易频繁发生故障,影响生产。人工智能介入后,会充分改变这种状况,变为持续实时的进行检测和数据挖掘分析,以一种主动智能化的操作模式进行,利用机器学习和数据挖掘方法,利用每台设备的每一项数据和过去所有的数据对比,在不间断的实时分析过程中及时抓取这一项数据的可能故障预兆,那么监控、分析、诊断、修复的过程就不再是传统的维护形式,而是在每一个细节上都进行优化处理,精确化、精细化的完成一次闭环操作。它在实时感知设备健康状况的基础上进行判断,依据监测到的异常情况给出相应的判断和调整维护计划,实施有针对性的维护方案,数据化判断决策更加灵活精确,在处理中不会对工艺造成大的损失,并缩短了处理周期。在这个意义上,精准的感知、判断和响应就不仅仅是单纯的针对故障进行处理,而是一次次循环,全面提升维护时效和设备的寿命周期^[1]。

4.2 提升可靠性策略

化工行业环境下的设备可靠性是生产安全、稳定的重要基础,而 AI 技术从多个维度为提升设备可靠性提供了技术手段支持。当化工仪表运行出现故障时,人工智能的深度学习及大数据分析可以从海量数据中

找出设备的运行规律,对设备可能出现的问题进行提前预判,降低人为判断造成的误差,提前预测设备可能出现故障的时间。而且利用 AI 技术,将化工工艺的一些关键性参数进行运行监控,对正常运行状态下的参数进行实时判断,当监控温度、压力、流量等参数出现偏离时,通过对比历史运行数据及设备运行现状进行智能分析判断,分析设备当前是否出现设备运行偏差,是否会出现当前预设温度、压力、流量等值的一些波动,是设备一些常见波动引起还是出现一些故障的预兆,进而通过其他相关的仪表参数进行对比分析,判断当前化工生产工艺设备系统运行状态健康状况。另外在化工仪表运行出现故障进行维修和处理时,每次的故障问题都是经过一番“诊断治疗”的过程,通过更新 AI 系统的一些运行数据,并逐渐运用到 AI 系统中,由此实现不断迭代和学习优化的算法,对设备可靠性不断提升、优化^[2]。

4.3 削减成本的举措

对于化工企业而言,设备维护、保养占用的企业人力、物力、财力是非常庞大的,而将 AI 技术应用于化工行业设备维护领域中,有助于节省上述维护开支。化工企业实施基于 AI 的预测性维护,预知设备故障之后对后续可能出现的突发状况,从而缩短传统维修模式下检修停车时间和设备突发故障维修所产生高额成本。AI 技术的适时、实时采集设备运行中的各种数据,可以对设备运行“疾病”进行病症、病情预测,可以针对设备可能出现的问题(故障),进行预知预防,即在得出“病症、病情预测”相关数据后,可提前更换或修复设备,减少对设备“病急乱投医”式的维护,减少对设备进行不必要的、频率较高的修复、更新维护。另外,化工企业可根据 AI 的预测分析结果针对性的储备维修所需备件或维护资源,可实施精准而有效的采购,避免过度采购造成的库存积压现象(资产浪费)。同时 AI 可以做到更智能化的资源配置,比如按照维修员的操作技能水平,实施更合理的分配调度,减少人力投入等等^[3]。

4.4 增进生产效率方法

AI 对化工仪表的智能化管控能有效提升生产过程的生产效能,主要体现在对其实施的全过程优化管理中。利用 AI 实时监测和跟踪化工生产设备的实际运行数据,保障所有生产设备的运行在最佳工况下,确保其性能最优,增强生产效能,实现了化工设备的最佳优化配置。以化学反应为例,借助 AI 的数据收集和处理结果对设备运行进行实时控制,在化学反应器内温度、压力值等可对反应器自身进行调控,可对化学反应条件进行实时调节,稳定生产过程,从而有效

降低对生产效益的影响,控制意外,避免人力的错误操作与人为因素引入可能在生产过程引发的生产设备和故障。AI 在化工领域的管理及控制效果还能有效避免生产设备因故障问题带来生产线停产,由此企业也能降低停产造成的人力、物力、时间等成本损耗,延长生产线运行时长,保障化工设备的正常运作。AI 还可用于实现生产过程的全自动控制,促进生产线自动化水平、生产运营效能优化等^[4]。

4.5 技术整合关键环节

化工仪表智能预见性维护并不是单纯运用 AI 技术就一定能获得胜利果实,而更应与现有技术紧密结合协调运行。技术衔接是“智能+”化工仪表预见性维护应用过程中的重要一环。数据采集层、传感器设备、云和大数据平台等技术相互结合才能发挥 AI 的智能预见和最优化运用功能,单纯的某一个数据源或者某种算法是不可取的。AI 的预测和优化需要设备数据源全面接入,从前端的数据采集层准确性、传输存储信息的可靠性再到数据处理、信息挖掘的智能化,这其中各技术平台都需同步作用。如云平台能提供强大的数据存储和信息计算力,而传感器设备则为数据源的采集提供保证,只有精确度高的传感器的采集数据,才能为 AI 提供准确数据^[5]。

5 结语

综上所述,基于经济视角的 AI 加持下的化工仪表的维护从故障性、计划性到预测性发展,并加入 AI 技术后,将能大幅提升化工仪表的监控能力和维护方式。在未来的发展中,结合 AI 技术发展的前景,预测性维护的准确程度、智能化程度也会日益改善。对化工仪表维护领域的深度开发未来可展望的研究方向应该会集中在算法模型、跨平台数据融合、智能化维修系统等层面,以满足化工仪表智能化和绿色化的需要。

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] 张进.化工仪表在工业生产过程中的应用与优化[J].天津化工,2024,38(05):70-72.
- [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(08):10-12.
- [4] 吴亮.石油化工仪表自动化设备的故障预防与维护探讨[J].中国石油和化工标准与质量,2024,44(07):17-19.
- [5] 高焕焕.化工仪表日常维护探究[J].中国石油和化工标准与质量,2024,44(06):21-23.