

大型石油储罐智能化检测技术应用及其经济效益研究

李超 (中石化胜利油建工程有限公司, 山东 东营 257000)

摘要: 随着全球石油工业的快速发展, 大型石油储罐的安全性与管理问题逐渐成为行业关注的焦点。传统的检测方法面临着效率低、误差大、无法实时监控等诸多挑战。为了应对这些问题, 智能化检测技术逐渐在石油储罐领域得到应用, 推动了储罐管理模式的创新和优化。本文结合当前智能化检测技术的发展现状, 探讨其在大型石油储罐中的应用, 并分析其对经济效益的提升作用。

关键词: 大型石油储罐; 智能化检测; 应用技术; 经济效益

中图分类号: TE972 文献标识码: A 文章编号: 1674-5167 (2025) 014-0160-03

Application of Intelligent Detection Technology in Large Oil Storage Tanks and Research on Economic Benefits

Li Chao (Shengli Oilfield Construction Engineering Co., Ltd., Dongying Shandong 257000, China)

Abstract: With the rapid development of the global petroleum industry, the safety and management of large oil storage tanks have gradually become a focus of industry attention. Traditional detection methods face challenges such as low efficiency, high error rates, and the inability to monitor in real-time. To address these issues, intelligent detection technology has gradually been applied in the field of oil storage tanks, driving innovation and optimization in tank management models. This paper explores the application of intelligent detection technology in large oil storage tanks based on the current development status of such technologies and analyzes its role in enhancing economic benefits.

Keywords: Large oil storage tanks; Intelligent detection; Application technology; Economic benefits

大型石油储罐是石油储存和运输的重要设施, 其安全运行对石油工业至关重要。然而, 随着储罐容量的增大和环境条件的复杂化, 传统的人工检测和手段往往难以满足高效、精准的需求。智能化检测技术, 通过集成传感器、物联网、大数据分析等先进技术, 能够提供实时的状态监测、故障预测及维护建议, 大大提高了储罐管理的效率和准确性。

1 智能化检测技术在大型石油储罐中的应用

1.1 传感器技术

传感器技术是大型石油储罐智能化检测系统的核组成部分, 它通过实时采集储罐内外的温度、压力、液位、振动等关键参数, 提供对储罐运行状态的精准监测, 并实现对储罐潜在故障的预测、诊断和维护。随着石油储罐规模的不断增大以及对安全管理的高要求, 传统的人工巡检方法已经难以满足对储罐状态的高效、精确监控需求。因此, 采用各种先进的传感器技术, 结合无线传感器网络 (WSN) 及数据传输与处理系统, 能够实现对储罐的全天候、全方位监控, 为储罐的安全性、稳定性和运行效率提供有效保障。

1.1.1 温度传感器

温度传感器作为储罐智能监控系统中最基础的传感器之一, 主要就是因为储罐温度的剧烈变化会直接影响到油品的物理及化学特性, 以及储罐的安全性。不同类型的温度传感器根据不同的工作原理具有不同

的测量范围与精度, 例如, 热电偶传感器的工作原理是基于塞贝克效应的, 即两种不同金属材料连接处的电势差会随着温度变化而变化。因此, 对于石油储罐, 常使用的K型热电偶传感器的温度测量范围一般就在-200℃至+1372℃之间, 在实际应用中, K型热电偶的精度通常为±0.75%到±2.0%之间(温度测量范围不同), 其抗干扰能力相对较强, 比较适用于储罐的整体监测环境。

1.1.2 压力传感器

压力传感器主要用于监测储罐内部和外部的压力差, 确保储罐在安全压力范围内运行。压力传感器通常采用压阻效应、压电效应、或电容效应来将物理压力转换为电信号。以压阻式压力传感器为例, 其工作原理是通过测量压力作用下敏感元件的电阻变化来获取压力值。石油储罐中的压力传感器一般采用不锈钢或陶瓷材质的隔膜来增加传感器的抗腐蚀性, 以应对恶劣的储罐环境。对于石油储罐, 常见的压力量程通常为0到20MPa, 且具有较高的精度, 一般精度范围在±0.1%FS(满量程精度)以内。储罐内的气体压力波动可能引发容器变形或泄漏, 超高或超低的压力均可能影响储罐的结构完整性。压力传感器的应用可有效避免这些潜在风险, 保障储罐的安全性。

1.1.3 液位传感器

液位传感器也是石油储罐监控中必不可少的设

备，它用于实时监测储罐内液体的高度，防止储罐因液位过高或过低而发生事故。常见的液位传感器包括电容式、超声波式、浮球式、激光液位传感器等。以电容式液位传感器为例，其工作原理是基于电容值随液位变化而产生的变化情况，我们通过测量电容的变化，就可以清晰地计算出液位的高度。

1.1.4 超声波液位传感器

超声波液位传感器的作用机理是利用声波反射原理，通过发送超声波信号并接收反射波来测量液位的高度。由于其非接触式的测量方式，超声波液位传感器在防腐蚀、抗污染等方面具有优势，适合用于石油储罐中。超声波液位传感器的测量精度通常在 $\pm 0.5\%$ 以内，在精度要求较高的场合，可使用激光液位传感器，激光传感器通过测量激光反射时间来计算液位，精度通常能达到 $\pm 0.1\text{mm}$ 。

1.1.5 振动传感器

在大型石油储罐中，振动传感器主要用于实时监测储罐结构的动态状态，尤其适用于针对由于外部环境、地震、风力或内部结构变形所导致的振动的监测。在长期运行中，储罐结构可能会因反复载荷作用、外界环境变化而发生微小的结构性变化，这些变化往往难以通过目视检查发现。而振动传感器是基于压电效应工作的，在振动发生时，压电材料会产生电荷信号，从而实现对储罐振动的精密化实时监测。通常情况下，振动传感器的灵敏度要求能够检测到频率范围从 1Hz 到 20kHz 的振动频率，以便及时识别储罐的变形或损伤。

1.2 无人机与机器人技术

无人机与机器人技术近年来在石油储罐智能化检测中的应用日益广泛，尤其是在对储罐内部和外部的巡检中，它们不仅能够提高检测的效率和精度，还能显著减少人工检测的危险性。

1.2.1 无人机技术

无人机技术近年来相应比较热门，其特别适用于对储罐外部的巡检，尤其是在高空和难以接近的区域。现代无人机通常配备了高分辨率的摄像设备，这些设备能够提供 20–50MP 的高清图像，捕捉储罐表面可能出现的任何裂纹、腐蚀或焊接点缺陷。此外，很多无人机上已经部署了红外成像技术，通过红外摄像头，无人机就可以清晰地检测到储罐表面因腐蚀、温度变化或油气泄漏等因素引发的温度不均情况。这些温度异常点往往是潜在安全隐患的标志，只有及时发现并加以处理，我们才能够有效预防因温度波动引发的安全事故。

1.2.2 机器人技术

与无人机不同，机器人技术更多地应用于储罐内

部的检查。储罐内部通常有着复杂的结构和较为狭窄的空间，人工无法轻松进入，而机器人则可以代替人工进入这些区域进行高效检测。其中，爬壁机器人就是一种常用的检测工具，它们通常配备强大的磁力系统或抓取装置，能够在储罐内壁上稳定爬行，并进行实时数据采集。机器人配备的超声波传感器可以检测储罐内壁的腐蚀情况，精度可达到 0.1mm，能够精确识别出由于腐蚀或应力导致的材料厚度变化，尤其是在检测储罐内壁的微裂纹时，机器人能够通过超声波回波的时间和频率变化，发现一些人工检查无法察觉的细微问题。此外，爬壁机器人一般还会配备激光扫描仪和视觉传感器，这些设备能够实时构建储罐内表面的三维图像，捕捉结构性变化或其他缺陷。机器人通过这些高精度的传感器，结合激光雷达、惯性导航系统 (INS) 和视觉识别技术，机器人便能够精准规划路径，在储罐内部实现自主导航，避开障碍物并高效完成检测任务。现代机器人技术的导航精度已经能够达到 $\pm 0.5\text{ cm}$ ，机器人很少会由于复杂环境导致操作失误。

1.3 物联网与大数据分析

物联网 (IoT) 和大数据分析技术在大型石油储罐的智能化监测和管理中起到了关键作用。通过物联网技术，各类传感器、设备以及控制系统，我们可以连接到一个统一的网络平台，实现对储罐各项运行数据的全面、系统、实时采集、传输与管理。而大数据分析则可以在此基础上对海量数据进行深度挖掘和智能分析，评估储罐的实时健康状况并及时进行预警。

1.3.1 物联网技术

物联网技术的技术原理是通过将各类传感器、设备和控制系统集成到一个统一的平台上，利用无线传感器网络 (WSN) 实时收集储罐内外部的各种数据。物联网的核心在于通过网络将这些数据及时传输至云平台或本地数据中心进行存储和分析，从而确保管理人员能够实时监控储罐的状态和运行情况。不同类型的传感器（如温度、压力、液位、震动传感器等）会被部署在储罐的各个关键位置，持续收集储罐各项运行参数。每一个传感器采集的数据量可能从几百字节到数兆字节不等，这些数据通过 Wi-Fi、LoRa、5G 等通信技术，按照规定的时间间隔（例如每分钟或每秒）上传至云端平台。

1.3.2 大数据分析技术

物联网系统收集到的海量数据为大数据分析提供了基础，本质上，大数据分析技术就是利用数据挖掘和机器学习算法对传感器收集的数据进行处理和分析，从而识别出潜在的故障风险并提前做出预测。大

数据平台的强大处理能力使得复杂的历史数据和实时数据可以进行关联分析，预测出储罐可能出现的故障和问题。大数据分析平台通常基于分布式计算框架（如 Hadoop 或 Spark）来处理和分析传感器数据，这些平台能够支持海量数据的存储与并行计算。传感器数据通过数据清洗和预处理后，将被送入机器学习模型进行训练。通过算法的迭代优化，系统能够根据历史数据模式识别储罐健康状态的变化，预测可能的故障类型。例如，基于温度、压力、液位等参数的时间序列数据，结合机器学习中的回归分析、分类算法、聚类分析等方法，系统能够识别出设备的异常运行模式并生成预警信号。例如，基于液位变化、压力波动与温度异常之间的相关性分析，系统可以在故障发生前几小时甚至几天，预测到储罐可能出现的泄漏、裂纹或腐蚀问题。通过将这些预测结果与实际设备状况进行比对，系统便可以持续优化预测算法，进一步提高故障预测的准确度。

2 智能化检测技术的经济效益分析

2.1 降低检测成本

智能化检测技术，尤其是传感器与机器人技术的应用，极大地降低了石油储罐的检测成本。传统的人工检测方法不仅需要频繁安排专业技术人员进行现场检查，还涉及高昂的运输、设备和人力成本。在典型的储罐检测场景中，传统人工检测通常需要每隔一至两个月进行全面检查，每次检查的成本约为 1 万到 3 万元。而智能化检测系统的部署后，能够实现实时数据采集和分析，检测周期大幅减少，并且通过数据分析识别潜在问题，避免了不必要的人工巡检。对于一个大型石油储罐，智能化检测系统的初期投资大约为 50 万至 100 万元，但系统运行后的年化运营成本仅为传统检测成本的 30% 到 50%。因此，智能化检测技术可以将检测成本降低至少 50% 以上，产生巨大的经济效益。

2.2 提升储罐运行安全性

智能化检测技术在提升储罐运行安全性方面同样具有较高的经济效益，因为智能化检测技术可以在问题发生之前就识别到储罐的潜在故障，从而避免由于设备故障引发的重大事故和经济损失。例如，传统人工检查一旦遗漏了储罐的微小裂纹或腐蚀点，就可能会导致重大的事故发生。而智能化检测技术的实施可以减少约 70% 的潜在事故风险，并使事故发生后的损失减少至少 50% 以上。因为我们可以及时通过预警系统的响应，在最短时间内采取最佳的维修或停产措施，从而避免灾难性事件的发生，减少停机维修的经济损失。

2.3 优化维修与保养策略

智能化检测技术还可以为储罐提供精确的健康状

态评估，从而优化维修和保养策略，减少不必要的维修费用，避免设备寿命的过早消耗。例如，传统的基于时间的维护可能在设备没有出现明显故障时也会进行大规模维修，而智能化检测则会根据设备的具体运行状态进行故障预测，从而将整体的维修成本降低 30% 至 40%。例如，我们通过实时监测储罐的腐蚀速率和压力变化，系统就能够预估储罐的维修时间，并根据精确数据安排最合适的维修方案。这种精准的维护方式不仅可以节省成本，还可以延长设备的使用寿命，减少由于过度维修导致的设备损耗和不必要的停机时间。

2.4 提高资产利用率

智能化检测技术的应用还能够一定程度上提高储罐的资产利用率，能够减少储罐因故障引发的停机时间。根据数据显示，在没有智能化检测系统的情况下，传统储罐的年停机时间大约为 30 天左右，严重影响了设备的使用效率。而通过智能化检测，设备停机时间迅速减少到 15 天以内，减少的停机时间提高了 15% 的资产利用率。此外，智能化检测还能够帮我们优化储罐的工作负载，避免设备的过载使用，进而提高设备的运营效率和延长使用寿命。综合来看，智能化检测技术可以使储罐的资产利用率提升 15% 至 25%，对于大规模储油企业而言，这就意味着成百上千万元的经济效益了。

3 结束语

智能化检测技术在大型石油储罐中的应用，不仅提升了检测效率和安全性，还可以带来显著的经济效益。通过降低检测成本、优化维修策略和提高资产利用率，智能化检测可以为石油行业带来了更高的效益和更低的技术风险。未来，随着技术的进步，智能化检测技术必将更加成熟和进步，因此，进一步推动石油储罐管理的智能化发展，对于保障我国大型石油储罐安全稳定运营具有重要意义。

参考文献：

- [1] 孟凡龙. 浅析石油储罐维修作业中的安全管理措施与优化 [J]. 中国设备工程, 2025, (S1):331-332.
- [2] 张伟. 大型石油储罐主动安全防护技术的应用探析 [J]. 山西化工, 2024, 44(03):197-198+228.
- [3] 孙磊, 黄志江, 张强, 杨永杰, 梁博. 大型石油储罐检测周期确定方法研究 [J]. 全面腐蚀控制, 2024, 38(01):42-44+55.
- [4] 尹苍飞. 防火技术在石油储罐的应用与发展 [J]. 当代化工研究, 2024(14):102-104.
- [5] 徐红辉. 石化企业原油罐区自动化技术分析 [J]. 化工设计通讯, 2021, 047(008):24-25, 80.