

油气储运过程中自动化仪表的应用研究

许义新(中石化石油工程设计有限公司, 山东 东营 257000)

摘要: 基于我国对能源资源的需求量不断提升, 石油储备及输送能力建设也在逐步扩大, 对于当前的油气产业而言, 储运环节的高效与安全至关重要。对此, 本文将聚焦于油气储运过程中自动化仪表的应用研究, 以自动化仪表技术需求为切入点, 深入分析其系统架构与关键技术, 并结合实际有效阐述自动化仪表在长输管道监测、储罐区管理、装卸作业控制以及安全预警与应急联动等场景下的应用, 旨在能够持续推动自动化仪表在油气储运领域的深度应用和技术革新。

关键词: 油气储运; 自动化仪表; 实践应用

中图分类号: TE8

文献标识码: A

文章编号: 1674-5167(2025)021-0088-03

Research on the Application of Automation Instruments in Oil and Gas Storage and Transportation Processes

Xu Yixin (Sinopec Petroleum Engineering Design Co., Ltd., Dongying Shandong 257000, China)

Abstract: Based on the increasing demand for energy resources in China, the construction of oil reserves and transportation capacity is gradually expanding. For the current oil and gas industry, the efficiency and safety of storage and transportation are crucial. In this regard, this article will focus on the application research of automation instruments in the process of oil and gas storage and transportation, taking the demand for automation instrument technology as the starting point, deeply analyzing its system architecture and key technologies, and effectively elaborating the application of automation instruments in scenarios such as long-distance pipeline monitoring, tank area management, loading and unloading operation control, safety warning and emergency linkage, aiming to continuously promote the deep application and technological innovation of automation instruments in the field of oil and gas storage and transportation.

Keywords: oil and gas storage and transportation; Automated instruments; Practical application

伴随着如今全球油气需求量的持续猛增, 油气储运作为连接生产与消费的一个关键枢纽, 其重要性不言而喻。在以往传统的储运方式上, 存在着效率、安全以及管理精度上的不足表现, 导致无法满足当前现代化的行业所需, 但在自动化仪表的引入下, 能够实现对于储运过程全方位、实时化的监测和管控, 有利于大幅度的提升运行效率、降低各类安全风险, 并实现资源的优化配置。当通过对自动化仪表技术深入研究与实践应用展开分析时, 能够为当下的油气储运行业的智能化升级发展, 提供更具科学性的依据和技术参考路径。

1 自动化仪表技术需求

1.1 安全监测

因油气本身具有着易燃、易爆、易泄露的危险特性, 一旦发生安全事故, 必将造成严重的人员伤亡和难以预料的巨大经济损失。据目前行业现状来看, 在过去因管道腐蚀、超压等问题所导致的事故发生率极高, 这也让当前整个行业对于自动化仪表的安全监测功能需求极为重视。聚焦于管道监测层面, 需要高精度的压力温度变送器, 用于实时监测管道内部的油气压力和温度变化, 一旦压力超出所设定的阈值范围后, 便能够立即发出警报, 严防管道破裂泄漏。而对于储

罐来说, 需要配备更加精准可靠的液位、可燃气体浓度监测仪表, 意在严防冒罐与可燃气体积聚爆炸的情况发生, 其所选用的可燃气体探测器其检测精度也需要达到 ppm, 这样才能够提前发现潜在危险。

1.2 运营管理

在十分庞大的油气储运网络中, 涵盖众多管道、储罐及设备, 但以往传统的人工管理很难实现高效运营的目标。但在自动化仪表的帮助下, 可采集大量实时数据, 尤其是借助数据管理系统, 还将实现对设备状态、运行参数的远程监控与分析。而通过智能仪表的自诊断功能, 可及时发现设备故障隐患, 提前安排维护, 减少停机时间。当应用自动化仪表后, 设备的维护效率能够提升 30% 以上。而且在基于数据分析后也可优化原有的储运计划, 通过合理调配资源, 实现运营成本的降低^[1]。

2 系统架构与关键技术分析

2.1 感知层设备

感知层中的设备作为油气储运自动化仪表系统中的重要探索触手, 可精准性的获取到各类关键数据。以长输管道监测为例, 分布式光纤传感器设备是由光纤材料所组成, 这类光纤材质多以高纯度石英玻璃为主, 其衰减系数可降低到 0.2dB/km 以下, 可全面确保

光信号在长距离传输中的稳定性。再或者是以常见的布里渊分布式光纤传感器为例，该传感器能够以1m的空间分辨率，针对管道沿线的温度、应变情况做出实时监测，即便是在复杂的地质条件下，依旧能够提前感知土壤沉降、地震活动等因素对管道所造成的微小形变，可为管道泄漏的预防工作提供关键信息；而在储罐区内，多探头雷达阵列液位计的雷达探头在工作频率方面处于6~26GHz的范围，这一范围能够有效穿透油气储罐内部复杂的介质环境，以便实现精准测量目标。而其压力传感器的测量精度更是能够达到0.05% FS、温度传感器的精度则是能够达到 $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ ，在这些高精度传感器的加持下，能够为储罐内油气质质量的动态监测提供更加可靠且稳定的数据支撑。

2.2 传输层网络

传输层中的网络将负责对感知层所采集的数据进行高效而稳定的传输，并最终将其引入到控制层。通过对长输管道场景分析来看，当采用光纤通信网络时，其传输速率能够达到10Gbps，甚至是能够达到更高，这样也将满足大量的监测数据动态传输需求。更为关键的是，光纤通信本身具有着极强的抗电磁干扰能力，即便是在穿越高压输电线、电气化铁路等一些复杂的电磁环境下，依旧能够保证数据传输的准确性与完整性；当聚焦于储罐区和装卸作业区，除了光纤网络之外，无线通信技术也在自动化仪表系统的支持下具有着广泛性的应用。

以基于LoRa技术的无线传输网络为例，其通信距离在空旷环境下，能够达到15km，可大范围的覆盖储罐区域。然而，其传输功耗降低至10mW以下，这也便于在储罐区域内大量布设传感器节点，确保数据稳定收集与可靠上传，还具备着组网灵活特性，有效适应储罐区的复杂地理布局条件。

2.3 控制层执行

在自动化仪表的控制层中，所有的执行设备都将根据传输层所传递引入的数据做出精准控制决策。以长输管道阴保电位监测系统来看，其中的恒电位仪作为核心控制设备，其输出电压范围一般在0~30V，输出电流能够达到0~100A。如此一来，便可参照管道阴保电位实时监测的数据，自动调节其输出量，以确保管道一直位于良好的阴极保护状态；而在储罐区，依托于自动化仪表技术的紧急切断系统，其切断阀响应时间一般小于1s，这一执行特性可以在监测到液位超高或可燃气体浓度超标等一些危险情况时迅速做出动作反应，严防危险事态的扩大；而智能调节阀在装卸作业控制领域的阀门开度精度能够达到 $\pm 0.5\%$ ，这也意味着其智能调节阀可参考质量流量计的反馈流

量、压力等数据，快速精准的调节阀门开度，尽可能的确保油气装卸作业的平稳进行。由此不难看出，控制层的执行设备之间具有着相互协同的特性，并依托于自动化仪表技术，为油气储运过程的安全高效运行提供坚实保障^[2]。

3 自动化仪表在油气储运过程中的实践应用

3.1 长输管道监测

油气长输管道作为石油关键储运环节，自动化仪表将在此环节发挥出重要作用。分布式光纤传感技术作为自动化仪表中的重要组成部分之一，将以自身光纤作为敏感元件，构建一张覆盖范围广且性能严密的监测网络，目的就在于对长输管道展开全方位、实时化的监测。由于油气长输管道大多铺设在复杂地形与环境中，一旦引发泄漏或变形情况，必将会引起周围环境的细微变化，而这些变化只要出现就会促使光纤中的光相位、强度等参数发生改变。例如，以干涉型分布式光纤传感器的应用来看，凭借着其超高的灵敏度，可精确检测到微小的应变变化，其定位精度甚至能够达到 $\pm 1\text{m}$ ，可在第一时间察觉管道泄漏，有助于为快速抢修提供关键参考信息。

智能清管定位系统同样作为自动化仪表中不可或缺的重要组成，其与分布式光纤传感器具有着相互配合的特点，可共同保障管道的安全与畅通性。在这之中，清管作业是维持长输管道正常运行的关键手段，智能清管定位系统则结合了地磁定位以及声波定位技术，另原有的清管作业环节变得更加安全、高效。当清管器在管道内运行时，自身所携带的地磁传感器能够与地面的地磁基站之间进行协同工作，并初步确定清管器的大致位置，之后可利用声波信号在管道内部施展独特的传播特性，最终实现精确定位。而在实际的长输管道应用场景中，该定位精度能够满足工程所需，还可以有效避免清管器在管道内出现运行卡顿或迷失方向等问题^[3]。

此外，阴保电位监测系统也是自动化仪表在长输管道监测中的关键应用。由于长输管道长时间位于地下复杂的电化学环境内，很容易受到地下环境的腐蚀影响，其阴保电位监测系统将会通过在管道内部沿线科学布设参比电极与智能电位测试仪，实现阴极保护电位数据的实时采集。而这些数据再通过无线传输技术的整合下，将迅速聚集至监控中心，相关人员便可在监控中心利用专业的数据分析软件，精确性的判断出管道的保护效果，若一旦电位引发异常，系统就会自动调节恒电位仪输出，以实现电流的及时调整与保护，还能确保油气长输管道得到持续性与高效性的保护，有助于延长管道的运行寿命、降低日常维护成本。

3.2 储罐区管理

基于油气储运的储罐区在自动化仪表的实践应用下，可通过构建出一套更加全面且精细化的管理体系，实现储罐区的高效管控。在这之中，多探头雷达阵列液位计作为其中的核心设备，在储罐液位监测中发挥着关键性的作用。由于储罐区域内储存了大量的油气，务必要准确掌握相关数据。在多探头雷达阵列液位计中，高精度地匹配了多个雷达探头，便于通过不同角度对储罐液位展开测量，测量后会通过先进的数据融合算法，巧妙地消除区域内的测量盲点，其测量精度甚至能够提升至 $\pm 2\text{mm}$ 。并且为了能够实现对于储罐内油气质质量的动态监测，多探头雷达阵列液位计也可以与压力、温度、测量仪表之间进行联合设计。比如压力和温度变化作为反映油气物理状态与质量变化的重要参数，通过综合分析这些参数能够实时掌握当下储罐内部的油气质质量状况。

在储罐区管理过程中，自动化仪表的实践应用也涵盖着 VOCs 网格化监测技术。由于储罐区域很容易挥发一些挥发性的有机物，这不但会造成环境污染，还会潜藏巨大的安全隐患。而自动化仪表中的高级进度 VOCs 传感器，可以在储罐区域内精心布设监测网格，重点针对空气当中的 VOCs 浓度进行动态化监测，一旦在监测过程中发现其浓度已超过所设定的安全数值标准，报警装置便会立刻启动，并联动通风设备，迅速降低区域内的有害气体浓度，尽可能地减少环境污染与区域内的安全风险^[4]。同时，紧急切断系统作为自动化仪表中的重要技术之一，也同 VOCs 网格化监测却有着相似性的功能。作为储罐区安全的重要防线，在自动化仪表技术引进下，需要在储罐进出口的管道上预先安装好紧急切断阀，并侧重于与液位、压力、可燃气体浓度等监测仪表之间紧密联动。一旦出现液位超高、管道泄露等异常情况时，紧急切断系统便会在 1s 之内快速做出阀门切断反应。阻止油气的进一步泄漏，尽可能避免事故范围扩大。

3.3 装卸作业控制

在油气的装卸作业环节，自动化仪的实践应用可助力其实现精细化的控制效果，全面提升作业效率与安全性。以自动化仪表技术为核心，其中的高精度质量流量计与智能调节阀则是装卸作业环节的关键设备。例如，具备高精度特性的质量流量计能够凭借着 $\pm 0.1\%$ 的高精准测量精度，精确性的计量装卸的油气质量，为后续的贸易结算与生产调度提供更加准确的数据支持；而智能调节阀则是依照预先所设定的流量以及压力参数，快速响应调节阀门的开度。在装卸过程中，随着质量流量计监测到流量或者是压力出现异

常波动情况后，智能调节阀就会迅速做出动作反应，以确保装卸过程能够始终维持在平稳状态，避免因为流量与压力的异常突变而引发安全事故。

与此同时，通过自动化仪表与装卸设备之间的联锁控制，可以构建出一套更加严密的防误操作体系，有效规避人为操作失误所造成的隐患风险。例如，在装车作业时，一旦液位接近或是达到了所设定的上限数值，自动化仪表内部的各类传感器就会迅速进行逻辑判断，快速发出精准的控制信号，随即自动停止装车泵的运转。更为关键的是，当检测到流量或压力出现异常的跳变情况时，自动化仪表会即刻触发紧急制动程序，立刻关闭相关阀门，防止油气泄漏^[5-9]。通过这一系列操作下，不但能够避免冒罐事故发生，还可以通过对整个装卸流程的精确调控，尽可能地减少设备磨损、降低能源损耗，全面确保装卸作业的安全与高效进行。

4 结束语

综上所述，当自动化仪表应用在油气储运过程中，将显著提升其安全监测及运营管理等多方面水平。而基于技术需求分析，再到系统架构的搭建，以及最终实际场景的自动化应用，无不展现出了自动化仪表在油气储运过程中的巨大优势。而在其未来的技术发展创新过程中，自动化仪表也将朝向更具智能化、集成化以及高效化的方向前行，并持续为油气储运行业的安全、高效、绿色化发展注入自动化革新动力。

参考文献:

- [1] 孙健. 浅析油气储运过程中仪表自动化技术的应用[J]. 中国化工贸易, 2023(6):181-183.
- [2] 黄明君, 杨天瑞. 油气储运过程中仪表自动化技术的应用 [J]. 中文科技期刊数据库(全文版)工程技术, 2021(4):2.
- [3] 咸君成. 油气储存过程中仪表自动化技术的应用探讨 [J]. 中国石油和化工标准与质量, 2024,44(8):156-158.
- [4] 尚德坦. 浅析油气储运过程中仪表自动化技术的应用 [J]. 中文科技期刊数据库(全文版)工程技术, 2021(7):2.
- [5] 朱文卿. 自动化技术在油气储运过程中的应用 [J]. 中国石油和化工标准与质量, 2023,43(24):181-183.
- [6] 张伟, 李明. 油气储运自动化系统中的智能仪表集成技术 [J]. 油气储运, 2022,41(3):34-40.
- [7] 周晓东等. 人工智能在油气储运仪表故障诊断中的应用进展 [J]. 油气田地面工程, 2024,43(2):89-94.
- [8] 李红梅, 吴振华. 油气装卸环节智能控制系统的开发与验证 [J]. 化工自动化及仪表, 2021,48(8):67-72.
- [9] 赵岩, 孙丽华. 5G 技术在油气储运自动化中的潜在应用研究 [J]. 现代电子技术, 2024,47(10):112-116.