天然气集输常见自动化仪表可靠性分析

张文康 梁远长 程 帅

国家管网集团西气东输公司合肥分公司 安徽 滁州 239000

摘 要: 天然气集输是天然气开发与应用的重要环节, 自动化仪表在其中起着关键作用。本文分析了天然气集输系统中常见自动化仪表(如流量计、压力传感器、温度传感器等)的可靠性, 探讨了影响仪表可靠性的内部和外部因素, 并提出了故障预防措施。通过定量与定性分析方法, 评估了仪表的可靠性水平, 旨在为天然气集输系统的管理者提供理论支持, 保障系统运行的稳定性和安全性。

关键词: 天然气集输; 常见自动化仪表; 可靠性

引言: 天然气作为一种清洁高效的能源, 在现代社会中发挥着越来越重要的作用。天然气集输系统是连接气田与开发利用的关键环节, 其稳定运行依赖于各种自动化仪表的精确监测与控制。然而, 自动化仪表在复杂多变的集输环境中, 其可靠性面临着严峻的挑战。因此, 本文旨在深入研究天然气集输常见自动化仪表的可靠性问题, 提出有效的改进措施, 以确保集输系统的安全、稳定和高效运行。

1 天然气集输系统与自动化仪表概述

1.1 天然气集输系统简介

1.1.1 集输系统的基本构成

天然气集输系统是一个复杂且高效的系统, 其基本构成主要包括集输管网、集输站场、自动控制系统以及其他辅助配套系统。集输管网是由井口至集气站、集气站至处理厂的原料天然气输送管道构成的网状系统。集输站场则包括井场、集气站、增压站、阀室、清管站等专用生产场所, 负责天然气的收集、分离、计量和输送。自动控制系统确保整个集输过程的同步运行和安全监控。此外, 供电、通信、道路等辅助系统为集输系统提供必要的支持。

1.1.2 主要工艺过程及作用

天然气集输的主要工艺过程包括单井站处理、集气站集气分离、脱水站脱水等。单井站通过节流降压、加热和分离等步骤将天然气中的油、机械杂质等分离出来。集气站则对处理后的天然气进行节流调压、分离计量。脱水站则利用低温冷凝法、固体吸附脱水法等方法去除天然气中的水分。这些工艺过程共同作用, 确保天然气达到符合管输要求的条件。

1.2 自动化仪表的分类

(1) 按功能分类。自动化仪表按功能可分为压力变送器、温度传感器、流量计、阀门位置器等。这些仪表

分别负责测量和控制天然气的压力、温度、流量以及阀门的开关状态等关键参数。(2) 按安装位置分类。自动化仪表还可以按安装位置分为现场仪表和控制室仪表。现场仪表安装在天然气集输系统的各个生产现场, 负责实时监测和采集数据; 控制室仪表则位于控制室内, 负责数据的汇总、分析和远程控制。(3) 按传输信号分类。根据传输信号的不同, 自动化仪表可分为模拟信号仪表和数字信号仪表。模拟信号仪表传输的是连续变化的物理量信号, 而数字信号仪表则传输的是离散的数字信号。

2 天然气集输常见自动化仪表故障模式分析

2.1 流量计故障模式

(1) 传感器故障。流量计传感器是测量流量的核心部件, 若出现故障, 将直接导致流量测量不准确或无法测量。传感器故障的原因可能包括传感器内部元件损坏、传感器与流体接触部分堵塞或磨损等。例如, 超声波流量计可能因传感器表面结垢或污损而无法准确发射和接收超声波信号, 从而影响测量精度。(2) 积水和结晶问题。在天然气集输过程中, 管道内可能存在积水或天然气中的某些成分可能形成结晶。这些积水和结晶可能会附着在流量计传感器上, 干扰其正常工作。例如, 积水可能导致电磁流量计电极短路, 而结晶则可能堵塞流量计的测量通道, 影响测量准确性。(3) 管道泄漏。管道泄漏是天然气集输系统中常见的故障之一。当管道发生泄漏时, 流量计测量的流量将与实际流量产生偏差。此外, 泄漏还可能导致流量计传感器受到损坏或污染, 进一步影响其测量精度^[1]。

2.2 压力传感器故障模式

(1) 接线故障。压力传感器的接线可能因长期振动、腐蚀或人为因素而损坏, 导致信号传输不稳定或完全中断。接线故障可能表现为传感器无输出、输出信号

波动大或与实际压力值不符等。(2) 积尘与污染。压力传感器的工作环境可能充满灰尘、油污或其他污染物。这些污染物可能附着在传感器表面或内部元件上,影响其测量精度和稳定性。例如,灰尘可能堵塞传感器的测量孔,导致测量值偏低;油污则可能改变传感器的灵敏度,使其对压力变化的响应变得迟钝。(3) 电磁干扰。在天然气集输系统中,电磁干扰是一个不容忽视的问题。压力传感器可能因受到周围电磁场的干扰而产生测量误差。这种干扰可能来自其他电气设备、无线电信号或雷电等自然因素。电磁干扰可能导致传感器输出信号不稳定、波动大或产生误报。

2.3 温度传感器故障模式

(1) 灌封问题。温度传感器在制造过程中需要进行灌封处理,以保护内部元件免受环境因素的影响。然而,灌封材料可能因质量问题或工艺不当而产生气泡、裂纹等缺陷,导致传感器内部元件受潮、腐蚀或损坏。

(2) 老化与退化。温度传感器在使用过程中会因长期受热、振动或化学腐蚀等因素而逐渐老化或退化。这种老化或退化可能导致传感器的灵敏度降低、测量精度下降或响应时间延长。例如,热电偶温度传感器可能因长期使用而导致其热电势输出不稳定或漂移。(3) 线路断裂。温度传感器的信号传输线路可能因机械应力、老化或环境因素(如腐蚀、磨损)而断裂,导致传感器无法正常工作或输出信号失真。线路断裂可能发生在传感器与接线盒之间、接线盒与控制系统之间的任何位置,使得温度数据无法准确传输至监控系统。

3 天然气集输自动化仪表可靠性分析方法

3.1 定量分析

(1) 故障树分析(FTA)。故障树分析是一种自顶向下的系统分析方法,用于识别和分析导致系统失效的基本事件及其组合。在天然气集输自动化仪表的可靠性分析中,FTA通过构建故障树模型,逐层分解系统失效原因,直至找到最基本的原因——基本事件。这种方法有助于准确找出系统的薄弱环节,为故障预防和应对措施制定提供有力支持。(2) 事件树分析(ETA)。事件树分析则是一种自底向上的系统分析方法,用于描述和分析一个初始事件可能引发的后续事件序列及其结果。在仪表可靠性分析中,ETA通过模拟仪表故障发生后可能的各种情况,评估其对系统整体运行的影响程度。这种方法有助于发现潜在的故障传播路径,为应急预案的制定提供科学依据^[21]。(3) 可靠性均值分析(RMA)。可靠性均值分析是通过统计方法计算仪表在一定时间内的平均无故障工作时间(MTBF)等可靠性指标。这些指标

能够直观地反映仪表的可靠性水平,并与行业标准或设计要求进行对比,从而评估仪表的性能是否达标。

3.2 定性分析

(1) 故障模式与影响分析(FMEA)。FMEA通过列出仪表的各种潜在故障模式,分析每种故障模式对系统的影响程度,从而识别出关键的故障点和改进机会。在天然气集输自动化仪表的可靠性分析中,FMEA有助于及时发现并消除潜在的隐患,提高系统的安全性和可靠性。(2) 故障模式、影响与临界性分析(FMECA)。FMECA在FMEA的基础上,进一步考虑了故障的临界性,即故障发生的概率及其对系统影响的严重程度。这种方法为仪表的可靠性分析提供了更为全面和深入的视角。通过FMECA,我们可以不仅识别出关键的故障模式,还能评估这些故障对系统整体性能和安全性潜在的威胁,从而为制定有效的故障预防措施和应对策略提供科学依据。

3.3 综合评估方法

(1) 结合定量与定性分析的优势。定量分析和定性分析各有其独特的优势。定量分析能够提供精确的数据支持和统计证据,而定性分析则能够充分利用专家经验和专业知识,揭示潜在的风险和隐患。通过结合这两种方法,我们可以获得更为全面和深入的可靠性评估结果,为仪表的维护和改进工作提供更为有力的支持。

(2) 可靠性评估模型的构建与应用。可靠性评估模型是综合评估方法的重要组成部分。通过构建可靠性评估模型,我们可以对仪表的可靠性进行预测和评估,从而提前发现潜在的故障点和改进机会。这些模型可以基于历史数据、专家经验和理论知识进行构建,并随着实际运行数据的不断积累进行更新和优化。通过应用这些模型,我们可以更加准确地评估仪表的可靠性水平,并为系统的安全稳定运行提供有力保障。

4 提高天然气集输自动化仪表可靠性的综合措施

4.1 优化设计与制造工艺

(1) 提高仪表的设计质量和制造工艺水平。仪表的设计质量是其可靠性的源头。在设计阶段,应注重结构的合理性、功能的完整性以及性能的稳定性。这要求设计人员充分了解仪表的使用环境、工艺要求以及潜在故障点,从而采用先进的设计理念和技术手段,确保仪表能够在恶劣条件下保持高精度和长寿命。同时,制造工艺水平的提升同样关键。采用精密的加工设备、严格的工艺流程以及先进的检测技术,可以有效减少制造过程中的误差和缺陷,提高仪表的制造质量。(2) 选择高质量的材料。材料的选择直接影响仪表的性能和可靠性。

高质量的材料具有更好的耐腐蚀、耐高温、耐磨损等特性，能够在恶劣环境中保持稳定的性能。因此，在仪表制造过程中，应优先选择经过严格检测和认证的优质材料，确保仪表在长期使用过程中不会出现因材料老化、变形或腐蚀导致的性能下降或故障^[3]。

4.2 加强维护保养

(1) 建立完善的维护保养计划和记录。为了延长仪表的使用寿命，必须建立完善的维护保养计划和记录。计划应包括保养周期、保养内容、保养方法以及所需工具和材料等信息。同时，每次保养后应详细记录保养过程、结果以及发现的潜在问题，以便后续分析和改进。这有助于及时发现并解决仪表的潜在故障，确保其始终处于良好的工作状态。(2) 定期对仪表进行全面检查和校准。全面检查和校准是确保仪表准确性和可靠性的的重要手段。定期对仪表进行全面检查，包括外观、接线、传感器、电路板等方面的检查，以及功能测试和性能测试，可以及时发现并处理潜在的故障点。同时，对仪表进行校准，确保其测量结果的准确性和稳定性，避免因误差过大导致的误操作和安全隐患。(3) 及时更换老化或损坏的备件。备件是仪表的重要组成部分，其性能直接影响仪表的可靠性。定期对备件进行检查和测试，及时发现并更换老化或损坏的备件，可以避免因备件故障导致的仪表失效。此外，建立备件库，储备适量的关键备件，确保在需要时能够及时更换，是提高仪表可靠性的有效措施。

4.3 改善操作条件

(1) 优化操作方式，减少人为因素对仪表可靠性的影响。人为因素是导致仪表故障的重要因素之一。为了降低人为因素的影响，应优化操作方式，如简化操作流程、提高操作自动化程度等。同时，加强操作人员的培训和考核，确保其熟悉仪表的操作方法和注意事项，避免因操作不当导致的仪表故障。此外，建立严格的操作规程和考核制度，规范操作人员的行为，确保仪表得到正确、有效的使用。(2) 改善环境条件，减少外部环境对仪表的损害。外部环境对仪表的可靠性具有重要影响。为了降低外部环境的影响，应改善仪表的安装和工作环境。例如，为仪表提供适当的防护罩和防尘措施，避免其受到风沙、雨水等恶劣天气的侵蚀；控制仪表所

在环境的温度和湿度，避免其因温度过高或过低、湿度过大而出现故障；减少振动和电磁干扰等不利因素，确保仪表能够稳定运行。

4.4 故障预防与应急处理

(1) 定期对仪表进行故障预测和诊断。故障预测和诊断是提高仪表可靠性的关键措施之一。通过先进的监测技术和数据分析方法，可以定期对仪表进行故障预测和诊断，及时发现并处理潜在的故障点。这要求建立完善的监测系统，实时监测仪表的运行状态和性能参数，以及采用智能算法对监测数据进行分析 and 处理，从而预测仪表可能出现的故障类型和位置。一旦发现潜在的故障点，应立即采取措施进行修复或更换，避免故障的发生或扩大^[4]。(2) 制定详细的故障处理预案和应急措施。为了提高仪表在故障发生时的应对能力，应制定详细的故障处理预案和应急措施。预案应包括故障处理流程、责任分工、所需资源以及联系方式等信息，确保在故障发生时能够迅速、有效地进行应对。同时，对应急措施进行演练和培训，提高操作人员的应急处理能力和协同作战能力。这有助于在故障发生时迅速恢复仪表的正常运行，确保天然气集输系统的安全稳定。

结束语

综上所述，天然气集输系统中自动化仪表的可靠性对于确保系统安全、稳定运行具有重要意义。通过深入分析仪表的故障模式及其原因，并采取针对性的优化设计与制造工艺、加强维护保养、改善操作条件以及故障预防与应急处理等综合措施，我们可以有效提升仪表的可靠性水平。未来，随着技术的不断进步和创新，我们有理由相信，天然气集输自动化仪表的可靠性将得到进一步提升。

参考文献

- [1] 农小华,夏慧波.天然气集输常见自动化仪表可靠性分析[J].文化科学,2020,(12):126-127.
- [2] 刘永俊.天然气站场电气自动化设备可靠性分析及优化[J].文化科学,2021,(03):31-32.
- [3] 徐敏敏.天然气仪表自动化控制系统的可靠性分析[J].建筑技术科学,2024,(10):104-105.
- [4] 王萌.天然气输送管道常用自动化仪表的可靠性分析[J].文化科学,2020,(08):88-89.