

油气长输管道管式加热炉无人值守智能运行关键技术

王晋鲁（合肥合燃华润燃气有限公司，安徽 合肥 230075）

摘 要：本文从配套设备智能化、智能运行控制、预测预警与故障自诊断、远程智能感知几个层面入手，系统论述油气长输管道管式加热炉无人值守智能运行关键技术，为进一步提高管道加热的效率和安全性、实现管道智能化和自动化运行目标奠定坚实基础。

关键词：油气长输管道；管式加热炉；无人值守；智能运行；关键技术

油气长输管道是能源运输的重要通道，为确保管道运行安全和稳定，保证油气输送的高效性，相关企业通常会采用管式加热炉进行管道加热。然而，传统的管式加热炉存在一些问题，如能耗高、运行不稳定等，且需要人工监控和操作，存在安全风险。为解决这些问题，无人值守智能运行成为了关注的焦点。

1 油气长输管道管式加热炉无人值守智能运行关键技术的重要性

1.1 自动化监控和操作

传统的管道加热方式通常需要人工干预，但在长输管道环境下，管道线路可能跨越数百甚至上千公里，人力无法实时监测每个区域的温度变化。而采用无人值守智能运行技术，可以通过传感器和监测设备对整个管道系统进行实时监控，并根据温度、流量等参数，自动调节加热炉的工作状态，确保管道温度始终维持在合适范围内，防止管道结冰和堵塞。

1.2 提高运输效率和能源利用率

传统的管道加热方式存在能源浪费和不均匀加热问题，而无人值守智能运行技术可以根据管道的实际情况进行智能调控，将加热能源合理分配到不同的区域，提高加热效果和能源利用效率。同时，该技术还可以根据天气变化和管道实时负荷进行调整，使加热炉的工作更加灵活和高效，减少能源的浪费。

2 配套设备智能化

通过将手动球阀调整为具有远程调节功能的自动控制阀门以及将手动球阀调整为远程切断阀，可以实现被加热介质工艺单元的无人值守智能运行。远程操作方式使运营人员可以通过中央控制系统对阀门进行集中监控和控制，无需现场操作，提高了操作的便利性和安全性，并且与其他智能化技术结合，例如传感器技术、远程监控与控制技术等，共同实现加热炉的智能化运行。

针对油气长输管道管式加热炉的燃料燃烧工艺单

元，可以将燃料入口处的手动关断阀门调整为具有远程自动控制功能的阀门，借助远程监控与控制系统，运营人员可以远程操作该阀门，实现对加热炉燃气流量的粗调与切断，增设具有远程复位功能的燃料超压切断阀门，防止燃气超压导致事故发生。而通过采用自洁净自清洗的自动燃料过滤器，增加并联数量，使其具备堵塞后的自动切换与报警功能，确保燃气的净化和供应的稳定性。

对于油气长输管道管式加热炉的烟气流动工艺单元，可以增加烟气挡板开度与炉膛压力的联锁，确保加热炉的高效运行。通过监测烟气挡板开度和炉膛压力，运营人员可以远程调节和控制，使烟气流动符合设计要求，优化燃烧效果，增加烟气挡板与氮气灭火系统的联锁，提高灭火效果。

3 智能运行控制

3.1 I/O 点配置优化

在油气长输管道的管式加热炉的无人值守智能运行中，智能运行控制总的 I/O（输入/输出）点配置决定了系统的监测、控制和反馈能力。油气运输企业需要确定关键参数和设备，确定所需的输入和输出点，相关参数包括介质流量、温度、压力以及设备状态等，设备则包括阀门、传感器、执行器等。对于每个关键参数和设备，都需要确定相应的输入和输出点，实现数据的采集、控制和反馈。同时，根据实际情况，选择数字信号或模拟信号作为输入和输出，使用开关、传感器等设备来进行采集和控制。在模拟信号的过程中，需要使用模拟输入/输出模块来进行处理，选择适当的传输方式，如以太网、现场总线等，满足数据传输的要求。在进行布线和连接设计的过程中，工作人员要确定 I/O 点的布置位置和连接方式，布线要考虑信号传输的距离、噪声干扰和可靠性等因素，确保信号的准确传输和可靠连接。最后，在配置完 I/O 点后，需要对系统进行全面的测试和调试，确保各个输

人和输出点的准确性和稳定性,包括验证传感器的准确性、检查控制逻辑的正确性、验证数据的传输和反馈功能^[1]。

3.2 监测元件优化

在油气长输管道管式加热炉的无人值守智能运行中,监测元件的优化是确保系统安全、稳定和高效运行的关键,为系统提供可靠的数据支持,实现高效、安全、智能的运行控制。其中,关键参数包括介质流量、温度、压力、液位等,根据加热炉的特性和运行需求,确定需要监测的关键参数以及相应的监测元件。与此同时,工作人员应根据监测参数的特性和要求,选择适合的监测元件,如传感器、仪表、检测装置、流量计、温度传感器、压力传感器、液位传感器等,根据实际情况选择合适的类型和规格。在选择监测元件时,需要考虑其精度和可靠性,其中,精度是指监测元件对测量参数的准确度,可靠性是指监测元件在长期运行中的稳定性和可靠性。然而,无论监测元件多么先进和可靠,都需要进行定期检修和维护,检查监测元件的性能和状态,进行校准和维护,保证其准确度和可靠性,及时更换老化或损坏的监测元件,确保监测系统的正常运行^[2]。

3.3 PID 参数自适应整定

在油气长输管道管式加热炉的无人值守智能运行中,PID 能够实现对温度、压力等参数的精确控制,需要油气运输企业采用自适应整定方式来调节 PID 参数,其中,常见的自适应整定算法包括 Ziegler-Nichols 方法、临界增益法、模型参考自适应控制(MRAC)等,通过对系统进行实时辨识和参数调整,自动调整 PID 控制器的比例系数、积分时间和微分时间等参数,适应不同的工况和扰动。在此过程中需要注意,自适应整定需要根据实际的工艺特性和系统响应进行系统辨识和模型建立。通过实时采集和分析控制系统的输入输出数据,获得系统的传递函数、状态空间等数学模型,作为自适应整定算法的基础,用于对 PID 参数进行调整^[3]。与此同时,根据自适应整定算法和系统模型,对 PID 控制器的参数进行实时调整和优化,并且通过与期望响应进行比较,结合实际误差,自动调整比例、积分和微分参数,提高控制系统的性能和稳定性,实现对不同工况和负荷变化的自适应控制。在自适应整定过程中,需要实时监测控制系统的输出和反馈信号,将其用于参数调整。通过不断的反馈和调整,使控制系统能够自动学习、适应不断变化的工况,提

高控制系统的响应速度和准确性^[4]。

4 预测预警与故障自诊断

4.1 预测预警

在油气长输管道管式加热炉的无人值守智能运行中,预测预警是关键的一环,可以帮助及时发现潜在的故障或异常情况,并采取相应的措施,确保加热炉的安全稳定运行。以某炉膛温度预警为例,工作人员要根据历史炉膛温度数据计算得到炉膛温度的实时变化速率,通过采集并分析炉膛温度的历史数据,计算相邻时间点的温度差,并除以时间间隔,得到变化速率,获得炉膛温度的实时变化速率。然后将炉膛温度区间范围划分为 3 级预警区间^[5]。根据具体情况,可以根据炉膛温度的变化范围和预警需求,将炉膛温度划分为不同的区间。在此过程中,可以将炉膛温度范围划分为无预警区间、1 级预警区间和 2 级预警区间,实时监控炉膛温度的变化情况。在无预警区间,炉膛温度为 $(-\infty, 780)$ °C,响应形式为无响应;在 1 级预警区间,炉膛温度为 $(780, 830)$ °C,升温速率为 $(-\infty, 15)$ $(15, +\infty)$,响应形式为无响应、系统预警;在 2 级预警区间,炉膛温度为 $(830, 880)$ °C,升温速率为 $(-\infty, 10)$ $(10, +\infty)$,响应形式为无响应、系统预警、预警表格自动输出^[6]。

4.2 故障自诊断

在油气长输管道管式加热炉的无人值守智能运行中,故障自诊断可以帮助及时检测和诊断设备故障,以便采取相应的措施进行修复或调整。为了实现这一目标,需要相关人员在系统正常运行状态下,收集和记录各个关键参数的基准值和范围。通过分析历史数据和故障数据,建立故障诊断模型。常见的方法包括基于规则的诊断、模式识别、人工神经网络等,通过比较实际参数与预期参数之间的偏差,判断是否存在故障^[7]。与此同时,通过安装传感器和监测设备,实时监测关键参数如温度、压力、流量等,并将数据传输到故障诊断系统进行实时分析,从而利用比较实时数据与预设的阈值或基准值,检测是否存在异常情况或故障。除此之外,相关人员可以根据故障诊断模型和实时数据分析,对故障进行模式识别和分类。通过对历史故障数据进行学习和分析,建立故障模式库,以便将当前的故障与已知的故障模式进行匹配,确定具体的故障类型。当故障类型确定之后,便可进行故障原因分析,找出导致故障的根本原因,可能涉及设备的设计、材料、操作方式等方面的问题,从而采取

相应的措施来修复设备或改进运行方式,以避免类似故障再次发生;当故障诊断系统检测到故障或异常情况时,应及时发出报警信号或通知,确保设备的可靠性和持续运行^[8]。

5 远程智能感知

在油气长输管道管式加热炉的无人值守智能运行中,远程智能感知是关键技术方式,可以通过传感器、网络通信和数据分析等技术手段,实时获取和监测加热炉的运行状态和环境参数。因此,工作人员可以通过在管式加热炉上安装各种类型的传感器,如温度传感器、压力传感器、流量传感器等,实时监测关键参数的变化,并且将收集到的数据通过信号转换和处理后,传输到远程智能感知系统进行深入分析和处理。为了实现远程智能感知,工作人员还需要建立可靠的通信网络,利用互联网、无线网络、卫星通信等方式,将加热炉的监测数据传输到远程监控中心或云平台,无论是在离加热炉较近的现场还是远程操作中心,都能够获取实时的加热炉运行数据。在此过程中,通过远程智能感知系统收集到的加热炉运行数据对数据进行实时分析和处理,包括数据清洗、特征提取、异常检测等步骤,从而提取出有用的信息,如运行状态、能耗、健康状况等。除此之外,通过远程智能感知系统,操作人员可以实时监控加热炉的运行状态和参数。当发现异常情况或需要调整时,借助远程控制方式进行操作,如调整加热温度、改变流量等,实现对加热炉的远程实时控制和运行管理。另外,基于远程智能感知系统收集到的数据和分析结果,可以应用智能算法和决策模型,实现智能决策和优化,包括预测分析、能耗优化、故障诊断等,从而通过智能决策和优化,提高加热炉的运行效率和安全性^[9]。

比如,借助远程智能感知技术,确保工作人员在监视炉前燃烧区时,可清晰观察炉前燃料油系统整体状况、准确读取一次仪表的数据、观测燃烧器运行状况及燃料放散以及排污状况了解氮气灭火管道的完好状况;在监视氮气灭火装置区时,可清晰观察氮气储罐(或氮气瓶组)整体状况及氮气灭火阀组完整情况,并准确读取一次仪表的数据;在监视被加热介质进出口汇管位置区时,可清晰观察被加热介质进出口运行工况,并且准确读取一次仪表的数据;在监视炉膛位置区时,可清晰观察防爆门状况并观察炉膛温变及压变情况;在监视炉膛后墙位置区时,可清晰观察设置在炉后墙的人孔及氮气灭火管道整体状况^[10]。

6 结束语

随着油气长输管道的不断发展和运营需求的增加,管式加热炉的无人值守智能运行技术成为相关行业需积极探索的方向,这些关键技术的引入和应用,不仅可以提高管道加热的效率和安全性,降低能耗,还能减少人工操作和监控,降低安全风险。然而,要实现管式加热炉无人值守智能运行仍面临着一些挑战,如安全保障、数据隐私等问题,需要进一步研究和探索。

参考文献:

- [1] 李自阜,李培瑶,郎希川,魏亚峰.加热炉热效率在线计算及控制方案探讨[J].石油化工自动化,2019,55(2):35-38,44.
- [2] 真可知,齐正.基于改进PID控制算法的加热炉炉温控制系统设计与实现[J].国外电子测量技术,2020,39(7):62-67.
- [3] 裴勇涛.一种基于云计算技术的天然气超声流量计通用远程诊断系统的研究[J].计量与测试技术,2020,47(6):23-26.
- [4] 朱瑞苗,刘博,刘斌,孟昭宇,谢敏,谢天天.基于自主可控的长输管道站控系统方案及应用[J].石油化工自动化,2019,55(1):17-20.
- [5] 李柏松,徐波,王巨洪,张舒,王保春,杨喜良,等.中俄东线北段关键设备与核心控制系统国产化[J].油气储运,2020,39(7):749-755.
- [6] 张占源,胡运涛,陈万有,文小斌,邱俊峰.无人值守场站改造构想[J].智能制造,2021,28(1):75-78,93.
- [7] 董喜贵,林墨苑,周跃斌.应用智能机器人保障转油站无人值守的探索[J].油气田地面工程,2020,39(9):64-67.
- [8] 周巍,缪全诚.关于长输天然气管道数字化无人值守站场建设的探索[J].管理科学与工程,2021,10(2):183-187.
- [9] 陈传胜,李丹,尹恒,王盼锋,全青,王寿喜.智能管道发展现状及具体领域智能化的探讨[J].天然气与石油,2020,38(5):133-138.
- [10] 董绍华,张轶男,左丽丽.中外智慧管网发展现状与对策方案[J].油气储运,2021,40(3):249-255.

作者简介:

王晋鲁(1986-),男,汉族,山东泰安人,大学本科学历,中级工程师,合肥合燃华润燃气有限公司,研究方向城镇燃气。