

油气管道运输中的工艺设备与自动化控制分析

王 鹏 (国家管网集团北方管道有限责任公司锦州输油气分公司, 辽宁 锦州 121000)

摘 要: 石油化工是材料工业的支柱产业, 在国民经济中都占据了特殊的重要地位, 但鉴于石油化工原料易燃易爆与剧毒等高危化学性质, 油气储存一直以来都是石油化工产业的重难点技术之一。因此, 为了进一步提高石油化工产业的生产能效与安全性, 从根源避免油气运输的生产事故问题。文章首先分析了油气运输管道的工艺设备种类与特征情况, 而后总结提出实现油气管道运输工艺设备自动化控制的具体应用路径。希望通过文章中的刍议见解, 可以为石油化工设备的设计者与运维人员提供一定的帮助启示, 更好地保障油气运输作业质量。

关键词: 油气管道运输; 工艺设备; 自动化控制

石油化工产业的下游产品中, 既有市面常见的汽油、柴油、天然气等燃料产品, 又有橡胶材料、PVC 塑料材料、高分子树脂材料等工业原料。然而无论是油气产品还是半成品的制配过程中, 都具有一定的作业风险。例如准备投入加氢裂解工艺生产的油气原料, 需要用高温高压的油气储罐或管线来进行储存。这无疑给油气的生产运输带来了极大的风险与困难, 一旦操作不慎或安全防范不到位, 不仅会引起油气爆炸爆燃等群死群伤的严重生产事故, 还会给周边城镇的空气质量安全带来不可预估隐患威胁。

1 油气管道运输工艺设备的应用特征分析

1.1 油气管线运输的工艺流程

油气管线运输即是指油气原料从开采生产的油井开始, 一直到经过石油化工生产的各道工艺流程处理后, 转为合格成品油气产品运输至油库的过程。

首先是油气集输干线, 也就是矿区油田的生产管线系统, 这样的工艺设备在设计时需要考虑到生产油田的油气储量、油气物性、油藏性质以及油田构造类型等综合信息, 以此来确定管道设备的介质单位流量、流速、压力阈值以及井网井身设计等具体参数细节^[1]。

而后油气需要经过首站、分输站以及中间输油站、阀室等多个中转站点的转运和预处理, 此时的运输管线工艺设备建设需要考虑到配套运输网络的经济性、便利性以及社会效益, 综合制定较为科学、合理、易行的工艺设备安装方案。其中部分油气管线以及站点设施在实际安装施工时, 还需要权衡所在地区的水文工程地质、地震烈度以及其它环境因素, 使油气管线运输工程能够扬长避短地安排

工程布局, 使油气运输工艺设备的主体工程与附属工程配合衔接更加紧密。

接着是油气的穿越站, 仅仅依靠陆上储油罐车作为运输工具的做法不仅效率低下, 还要消耗大量的燃油物资作为载具动力消耗, 且期间油气中转过程中还更容易存在泄露污染隐患。因此需要在一些较长的山川、河流、高铁等特殊路段采取跨越或穿越敷设管线的形式进行超远距离管线运输, 穿越站的管线工艺设备安装时会根据途径地形地貌的不同, 以桁架跨越、拱桥跨越、斜拉锁跨等地上或架空安装管线的方式, 结合盾构隧道、钻爆隧道、顶管、夯管等地下安装管线的方式, 组合而成油气的运输穿越网络^[2]。

最后就是具有清管器收发、转发功能的中间站与末站, 在油、气生产储运的过程中, 为了降低天然气管线水露点、提高液体管道输送效率, 同时也是为了提高成品油气的生产质量, 会选择在清管站通过发清管器清扫作用来去除油气内部的杂质成分。之后再将其从清管站发往油气末站, 由末站根据石油化工产业链的生产计划安排对油气运输路线进行调度, 分别发往铁路油气装车站、油轮码头港口转陆上、海上运输, 或者是就近发往当地的炼油厂进行最后的加工生产。

1.2 工艺设备的应用特征分析

根据中研普华产业研究院最新发布的权威报告, 《2022-2026 年中国油气管道工程行业竞争格局及发展趋势预测报告》显示称, 自 2020 年以来, 我国工业制造业、农业以及生化制药产业对于油气资源的年需求量正呈倍数级上涨, 至 2022 年调研日为止, 需求量上涨约 3.7 倍。相比之下虽然城镇生活以及交通运输消耗的油气资源的增速趋于平稳,

较 2020 年水平上涨约 0.65 倍,但也是有增无减。这说明未来几年的时间里,油气资源市场消费力度将会随着社会发展进一步扩大增长。所以综合分析石油化工产业的市场需求以及运输生产实况,油气管线运输的工艺设备需求特征至少体现在如下几个方面:

一是运输能力的提升,“十四五”时期我国规划新建油气运输管线工程的增长速度为 90km/a,且在对以往老旧油气管线工艺设备进行改造时主要目的是进一步扩大输油管线的口径。这说明油气管线运输的工艺设备自动化,至少要与日益扩展的输油能力相匹配适应。

二是运输安全问题,首先是要确保油气管线工艺设备的设计方案合理性,长运输管线的增设势必会带来油气运输节点的增加,如何在不确定风险因素增加的情况下继续保障油气运输安全,成为工艺设备选型设计的关键。其次是要控制油气管线运输工艺设备的施工质量问题,重点抓好油气防爆燃与防泄露隐患事故问题,从设备长期投用的角度上严格落实安全制度,排查施工隐患。

2 油气管线运输工艺设备与自动化的应用思路分析

2.1 水合物自动化储运技术的应用

2.1.1 水合物储运工艺的原理与优势

水合物储运技术又叫做 NGH (Natural Gas Hydrate) 技术,是指在天然气运输过程中,通过控制外部的温度、压力、溶液盐浓度以及 pH 值等外部条件,使天然气与纯水合成一种多分子笼型簇团结晶化合物的运输技术。这样的天然气水合物的分子式可以用 $\text{CH}_4 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ 来表示,其中 n 表示为水合物中每一个天然气分子链合的水分子数量。天然气的天然气水合物常温条件下为一种类似冰晶的浅灰色固体,为了便于管线运输,可以通过控制水合溶液量的方法将其制配为浆状流体,可以很轻易地像酒精块一样被点燃。

水合物储运技术优势主要有如下方面:一是极大地降低了天然气的运输难度,由于天然气水合物浆体常温状态下物性较为稳定,所以能够直接解决天然气管线储运的逸散泄露问题;二是降低运输成本,水合反应后虽然由于水分子的参与会使运输介质的质量提高,但由于体积被缩小了数倍,评价 1m^3 水合物可以储存约 183m^3 的天然气燃料,因此可以以更高的管线流速水平运行,提高油气管线的介质运输能力。

2.1.2 水合物储运的自动化检测系统方案设计

分析油气水合物储运技术的自动化检测硬件功能需求,它的运行框架应当分为三个部分,首先是传感检测单元,主要负责采集管线内部压力、管线流速、介质流量以及观测管道内部介质流动实况的视频信息,水合物储运需要应用一种管道减阻技术,具体做法就是在管道内壁涂刷一层聚酰胺基涂层,以减少天然气水合物的管线运输摩擦力。但在实际投用过程中,需要根据上述采集来判断管线的运输状态,分析管线减阻层的剩余使用寿命与故障节点^[3]。为了进一步缩减油气介质管线传感检测数据的误差,在安装对应的传感器模块时,需要采取科学的部署方案,以三边测量法来反映测区的基本状态。二是实现对管线阀门、控制仪表等自动化控制的 PID 微处理器模块,这样的微处理器控制表达式可以写作如下:

$$u(t) = k_p [e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(t) dt + T_d \frac{de(t)}{dt}]$$

式中: $u(t)$ 表示为 PID 微处理器的控制输出值; k_p 表示为 PID 处理信号的功率放大系数; $e(t)$ 表示为 PID 微处理器的控制偏差值; T_i 表示为微分的时间常数; T_d 表示为积分的时间常数。

上述公式说明了, PID 微机处理器中,主要是由 k_p 、 T_i 、 T_d 三个系数来进行校正纠偏的。在水合物管线油气储运系统中,数据采集一定会因为管线的外部温度、地质活动等信息产生误差因素。而为了确保管线 PID 微机处理器能够对传感器的实时信号进行去干扰的降噪处理,需要用实验试凑法来对管线自动化控制模型进行闭环训练学习,其具体原理就是将 PID 控制模块全部安装后,将各个传感器的数据采集时间设置为同步模式,而后依照每组采集数据的算术平均值结果,剔除掉差异过大的异常传感采集数据。之后再采集数据全部送入实验模拟的闭环系统内,采用“曲线形式”对采集数据进行展示,并观察控制器的响应数据分布规律,通过反复输入参数试凑的方式来使控制器的响应曲线不断趋近于控制要求,最终确认 k_p 、 T_i 、 T_d 三个常量控制参数,使 PID 微机处理器可以根据管线内壁压力、流速情况等信息,自动区分管线的运行状态,从而灵活调整天然气水合物介质通道阀门的启通与关闭状态。

2.2 油气管线泄露的自动化预警技术应用

油气管线泄露问题是油气运输工程中必须重点防范的严重生产事故,无论是成品油气管线还是原

料管线,一旦出现了油气泄露问题,不仅会给石油化工企业带来巨大的经济损失,而且泄露的油气原料还会因其化学毒性污染周边的水体、土壤与空气,给临近城镇居民带来严重的安全威胁。但以往传统的油气运输管线只能通过定期的检修维护工作来确保管线的运行质量,巡检工作存在较长的空窗期,导致后续响应具有一定滞后性^[4]。所以在油气管线运输的工艺设备中实现自动化检测运行,其目的正在于通过管线系统的运行信号识别泄露事故点位,并第一时间启动停泵、关停管线上下游闸阀的应急预案,在泄露原料进一步扩大污染影响前,对油气污染物进行先决处置与回收,最小化控制油气泄露事故的危害损失。

2.2.1 管道泄露自动化检测技术原理

分析国内外油气运输管线工程的实践案例,在当前在油气长运输管线工程中,较为可靠精确的泄露检测分析检测方案,主要是由两种不同的检测技术组合而成的:首先是负压波法管道检测技术,油气管线运输的生产过程中具有系统密闭化的特点,正常运行状态不与外界空气产生直接接触,因此管线内的压力水平只会随着管线阀闸的启停而变化,其压力来源主要是介质流动的液压。而一旦出现破损点位或管节安装配合不牢的问题时,故障管段的压力示数会在极短的时间内大幅降低至与外界相同的水平,因此只要运用较小的管道模型来组成泄露检测区,利用管节与管节之间的连通作用,当故障管节开始产生负压信号时,就会由一个 PLC 控制器向分输站或穿越站等油气中转管理站区中控室发送泄露预警信号。但负压检测信号来源所对应的往往是较长的管段,在排除泄露点位上还需花费较多时间,因此还需要采用超声波泄露检测技术来实现对应故障段的捕捉定位,它主要是运用了 Duffing 方程的间歇混沌信号特征,在计算过程中模拟出声场信号的计算模型,以混沌阵子列的检测方法完成管线破损点位的微弱正弦信号捕捉,之后通过对比信号采集器上的相位与幅度差异,以“锁相分析”法来精确定位泄露故障点位。

2.2.2 管道泄露自动化检测方案设计

需要将油气运输管线按照不同的管理区段分为若干检测单元,其中负压信号的捕捉采集功能,主要依靠区段管线监测系统安装的可视化压力传感器来实现。而微弱超声波信号采集则需要在沿着介质输送方向的上下游各安装若干组超声波传感器阵列,每当有破损点位产生时,泄露点的音波会

沿着管线向上下游两个不同方向进行传播。此时超声波传感器阵列就会捕捉到这样一组带有特征的微弱超声信号,传感器阵列经过自激放大与调制后,会将声信号转换为电子脉冲信号,回传给 Acoustic Controller Unit (声学监控终端) 进行处理。此时监控终端会将信号回传的时间与压力传感器的信号进行差异对比,由于压力波是实时检测回传的,因此只需要对比音波与压力波的捕捉时间不同,再根据声波在介质管线中的传播速度就能够计算出泄露点位距离区段压力传感器的位置了。除此以外,在声学监控终端还需要安装支持 ACU/RTU 信号同步转换、干扰抵消、噪声抑制以及模拟处理功能的信号功放器,为了进一步提高自动化泄露检测系统的信号精度,避免传输失真的问题,泄露监测服务器以及管段两端安装的声波、压力波传感器应当通过专门的光纤管道来实现通信功能。

3 结语

综上所述,在能源安全战略背景下,从石油化工产业的长期稳定发展,以及石化企业社会声誉角度考虑,进一步提高油气管道运输工艺设备的自动化控制水平,实现石油化工厂区无人化、安全化、人性化生产是非常必要的。要实现“智能化”转变,同传统运输管道工艺相比,智能电子阀门、仪表等管线工艺设备的安装,将会引领石油化工产业管道数据向信息化、数字化、可视化发展转变,在“管理端口+云网络+大数据”的平台管理模式下,构建起油气管线运输工程的全生命周期管理制度,为油气运输提供交互感知可视、管线网络融合互联、调度精准匹配、设备运行高效、数据全面统一、风险预测警报等可行的技术功能。在实现远程智能化控制功能的基础上,为油气运输的调度决策与运维抢修提供基础的信息依据参考。

参考文献:

- [1] 陈浩,沈博臣,钱泓超.油气管道运输中的工艺设备与自动化控制[J].制造业自动化,2021,43(08):69-73.
- [2] 张钦杰.油气管道运输中的工艺设备与自动化控制探讨[J].中国石油和化工标准与质量,2020,40(15):193-194.
- [3] 樊学勇,马勇,张晨.油气管道运输中的自动化控制分析[J].化工管理,2019(33):149-150.
- [4] 黄烨敏,余俊元.油气管道运输中的工艺设备与自动化控制研究[J].中国设备工程,2019(16):148-150.