

石油化工压力管道设计过程及要点的分析

王晓光（中国寰球工程有限公司，北京 100012）

摘 要：在我国经济发展过程中，随着国民经济实力的不断增强，进一步刺激了石化行业发展规模的扩大。压力管道是石化行业生产过程中所必需的重要结构，为了确保石化行业的生产稳定性、安全性，必须确保石油化工压力管道的设计水平合规规范。本文以压力管道设计为中心，从设计要求与参数、设计程序、设计要点以及管道检验等方面进行了相关阐述，以期提高石油化工压力管道的设计规范性，为石化行业的发展奠定良好的基础。

关键词：石油化工；压力管道；设计过程；设计要点

0 引言

压力管道不仅是石油和化工原料输送的主要通道，更是保障国家能源安全和发展的大动脉。压力管道设计质量的好坏直接影响着石油化工产业链的运行安全性与稳定性，甚至对环境保护和可持续发展也具有举足轻重的作用。因此，在石油化工压力管道设计的过程中，必须充分考虑各种复杂工况和环境因素，确保管道系统能够在恶劣条件下长期稳定运行，为操作人员的人身安全和企业的财产安全提供有力的保障，进一步推动我国石油化工工业的健康、可持续发展。

1 石油化工压力管道设计的基本要求与参数

1.1 基本要求

第一，安全性是石油化工压力管道在设计中需要满足的最基本的要求之一，安全性应该体现在管道生命周期的各个阶段，不单要在设计阶段满足安全性要求，在制造、安装及运行阶段也要保证安全。安全性的表现之一为低风险性和高安全系数，在使用过程中，管道系统不会因设计缺陷、材料失效、操作失误或其他不可预见因素导致重大事故，具有足够抵御各类危险的能力；安全性的另一表现为运行稳定，尽量避免出现跑、冒、滴、漏等液体或气体泄漏现象，以免导致生产装置不得不紧急停工。第二，经济性是评估压力管道设计优劣的重要指标之一，它综合考虑了初始投资成本以及长期运行中的操作维护费用。一个设计优良的压力管道系统应该在确保安全的前提下，力求降低整体投资费用，同时，在日常运维阶段应该节约能耗、减少维修成本，并尽可能延长设备寿命，这样才能获得综合指数低的经济效益，满足经济性要求。此外，在进行压力管道设计时，除了要进行标准化、系列化的设计以外，还应满足其他设计要求。

1.2 设计参数

1.2.1 管道承受的压力范围

压力管道并不能代表管道工艺系统，其只是系统中的重要部分之一，压力管道的主要构成包括钢管、管件、阀门、仪表等内容，面向的对象为液体介质、蒸汽介质，压力管道可以针对这两类对象实现输送、混合、分离、存储等功能。石油化工企业压力管道系统，对压力承受值有严格的要求，因此，在进行压力管道设计时，需要结合各管道构成及温度极限值，并对应实际压力为参考进行具体设计。除以上要求以外，还需要充分考量运行环境、设备操作熟练程度、压力脉冲等情况，确保压力管道设计准确性。

由此可见，压力管道设计应遵循以下原则：第一，配置有安全泄放装置的压力管道，设计过程中要重点考虑极限工作条件的实际工况，以此来确定管道内的最高允许压力值。安全泄放装置的设定压力必须高于预期的最高工作压力，以确保在极端情况下能够安全释放压力，防止因过高压力导致安全隐患。第二，当设备配置有完整压力系统时，管道压力设计下限值不得低于设备工作压力，如存在管道内压力低于设备工作压力的情况，将会导致设备无法正常运转，甚至可能会引发系统故障。因此，在设计管道压力时，必须充分考虑到设备的工作需求，确保管道能够提供足够的压力支持。

1.2.2 管道承受的温度范围

在石油化工压力管道设计过程中，考虑到管道系统中的不同组成部分对应的温度存在明显差异，设计管道可承受的温度范围时，应该结合实际运行情况进行综合分析，以最差条件下的温度为依据进行设计。因此，在设计温度时，应当遵循以下几个基本原则：第一，在内部隔热管道的设计，应该采用现场试验方

法来验证和确定不同组成部分的温度。同时,为了确保理论计算与实际工况相符合,也可以借助热力学原理进行模拟计算,以此检验预设温度值的合理性。第二,在面向外部隔热管道的设计中,一般采取更为直接的方法来确认设计温度是否恰当。由于外部隔热管道主要任务是减少热量向外部环境散失或防止外部冷空气侵入引起介质温度下降,因此,在设计阶段可以将内部介质的温度直接作为外部隔热管道的设计依据。另外,在评估设计温度的合理性时,还应该充分考虑到在实际运行过程中可能出现的各种工况变化。例如,在人为加热或冷却操作下,管道内介质温度可能会发生较大幅度的升降变化。

2 压力管道的设计程序

管道设计可以分为两个阶段,第一阶段为初步设计,设计师要依据获批的建议书或研究报告的指导原则以及参数进行初步规划管道系统,并将设计思路生成报告上交至相关部门审核。待初步设计方案审批通过后,进入详细设计阶段,设计师需要依据审批后的设计方案进行后续的图纸设计。在进行管道系统的初步设计时,设计师需要结合实际生产规模与需求规划管道系统规模,并开始计算与分析管道施工所需要的具体材料。相关工作人员应该以材料的属性为依据开展工作,测量、明确材料的物理特性,同时结合管道内部流体的性质及预期的工作压力和温度条件,来选择最适合的管道材料。在完成上述计算和分析后,工作人员还要根据计算分析结果绘制系统的流程图,同时明确管道的空间走向、固定方式、阀门和附件的位置等详细信息。

3 石油化工压力管道的设计要点

3.1 防爆设计

在压力管道设计阶段,采取防护防爆措施有利于保障管道系统的运行安全性。为了有效防爆,首先应该了解引发爆炸的原因:第一,压力管道的周边环境因素,特别是当易燃易爆物品(可燃气体、液态烃类化合物或化学品等)存储在管道附近时,它们可能会因管道泄漏、自身挥发等原因进入管道系统,形成具有爆炸性的混合物。一旦遇到火源,很有可能发生剧烈的燃烧反应,导致爆炸。第二,管道所在环境中的空气流通情况,如果其与易燃、可燃气体混合,可能会形成具有高浓度和强爆炸性的混合物。第三,由外部环境因素引发的爆炸事件。明火源如焊接作业、火花放电等都是比较常见的点火能量来源,此外,温度

过高也可能导致管道内部压力急剧上升,加之外部压力波动等因素,也会触发爆炸条件。

通过对上述爆炸原因的归纳总结,进而可以明确设计环节中应该关注的要点,例如,设法隔离管道与外界气体的接触、设法消除管道内部可能产生的爆炸风险等。在具体行动中,可以采用双层管道模式优化管道内部的设计,即便内层管道输送易燃易爆介质,外层管道也可以起到隔绝外界空气、防止爆燃的作用,有利于降低安全事故的发生风险。压力管道所输送的物质通常具有易燃易爆的特性,在穿越电缆沟等高风险区域时,需要根据现实情况增设相应的隔热装置,有效控制管道外部温度,例如,在隔热温度不低于 50°C 时,可以在管道途径位置设置高架桥,在人流流量大的区域高架桥高度至少 2.5m ,在车辆频繁来往的区域高架桥高度至少 4.6m 及以上。在规划管道布局时,通常会选择将泵安装在管道走廊的下方,这样做既便于管理和维护,还能确保压力管道设计的经济性和合理性。

3.2 保温设计

保温设计分为绝热材料的选择与管道保冷两部分,因此在绝热材料的选择上,需要注意以下三点:第一,需要根据管道的类型与功能选择相应的隔热材料,并且在选择过程中还要通过计算等方式验证所选材料是否满足实际需求。第二,在管道实际运行期间的保冷层绝热材料的选择,若平均温度水平为 27°C 以下,在设置导热系数时,数值应设置为 $0.064\text{W}/(\text{m}\cdot^{\circ}\text{C})$ 以上;若绝热材料温度在 350°C 及以下,则在设置导热系数时,需要将其设置在 $0.10\text{W}/(\text{m}\cdot^{\circ}\text{C})$ 以下。第三,合理控制绝热材料的密度。软质、半硬质材料密度都应该设置在 $200\text{kg}/\text{m}^3$ 以下;部分硬质材料的密度不应超过 $300\text{kg}/\text{m}^3$ 。若是管道、设备温度不超过 50°C ,应从工艺层面角度着手,严格把控温度,可根据实际情况进行保温或增温。若表面温度超过 60°C ,管道、设备不具备保温功能的情况下,可以在设计过程中着重优化后续的日常维护机制,避免在管道运行过程中出现烫伤等情况。管道保冷主要针对的是在温度低于 5°C 的环境下工作的压力管道与相关设备。这一措施的主要目的是防止管道表面因低温而发生结露现象。当管道内部介质温度较低时,如果管道保温措施不足或保温材料性能不佳,其外壁容易接触到环境中的湿热空气,进而形成冷凝水,即发生结露。这种情况不仅会降低管道的保温效果,增加热能的损耗,

还可能带来一系列安全隐患。在选择和设计管道保冷材料时,应该重点关注其吸水性、吸湿性和憎水性等关键性能指标。

3.3 支吊架设计要点

进行压力管道设计时,常用的支吊架可以分为减震支吊架、承重支吊架、限制支吊架三种。减震支吊架在管道系统中的应用,可以实现管理、控制除热膨胀以外的多种作用力。当管道中的流体(如水、油、气等)因压力变化、温度波动或设备运行状态产生剧烈冲击时,减震支吊架能够迅速吸收并分散这些冲击力,防止其对管道产生过大应力,从而避免管道变形、破裂或产生其他损坏。

此外,它还能有效减轻因风力作用在管道上的负载,以及机械设备振动对管道产生的共振效应,确保管道在外界环境变化下仍能保持稳定、安全的运行状态。承重支吊架的主要功能在于承担整个管道系统的静载重力以及从垂直方向传来的任何附加负载力。无论是固定支架还是活动支架,都必须具备足够的承重能力,确保在管道内介质重力、设备自重及可能的额外负载作用下,仍能保持稳定,不发生位移或倾覆。限制支吊架的功能集中体现在对热位移的有效控制上。在管道因温度变化产生热膨胀时,限制支吊架能根据预设参数限制其位移量,防止因过度热膨胀导致的系统应力增大或损坏。从连接方式的差异性与支撑关系分析支吊架结构,其主要是通过连接件、生根件、功能件、钢结构四要素构成。连接件是连接支吊架各部件的关键纽带。生根件并非字面意义上的“连接件”。生根件是指那些固定于土建结构或其他附件上的组件,如预埋件、锚固件等。功能件的特点在于其各个构件均是根据特定功能需求进行配置的,比如限位杆、弹簧支吊架等。

这些功能件在支吊架系统中可以限制管道的位移、提供弹性补偿等。钢结构是由钢板、型钢和连接件等组成,其主要功能是传递支撑点上的作用力至土建结构或其他系统内设备的外壁上。通过优化钢结构的布局 and 连接方式,可以提高支吊架的整体刚度和承载能力,确保其在各种复杂工况下均能表现出良好的稳定性和安全性。另外,管道系统中还包含其他重要附件,如管托、吊耳、管卡、支腿等这些附件组合起来可以形成一套完整的支吊架系统,其目的在于确保管道外壁与支吊架之间紧密接触,从而有效减少因振动、冲击等因素导致的应力集中和管道损坏风险。通

过合理设计、配置附件,可以使管道系统在各种运行条件下均能保持稳定、安全的状态。

3.4 阀门选择要点

压力管道设计时,阀门选择会直接影响整个系统的安全性与耐用性,因此应加强对阀门选择的重视。为了保证管道系统的正常运作,在选择阀门时,必须根据实际应用需求进行全面考量,如将介质的特性、工作压力、流量要求、安装位置以及维护成本等因素纳入考虑范围内。压力管道切断阀门的类型比较丰富,且不同阀门的特点和适用场景也不相同。例如,截止阀是一种具有调节功能的阀门,其工作原理是基于流体在阀门内部通过时受到阻碍,从而实现开关控制。截止阀具备调节性能,但当流体阻力较大时,长期运行可能会降低密封可靠性,而为避免该情况的出现,截止阀的主要应用场合通常为调节开关场合。闸阀是另一种常见的压力管道切断阀门,当阀门流阻较小的情况下,启闭力也相对较小,因此具有良好的密封性。明杆闸阀,则是通过升降阀杆的方式,直接改变开关的状态与程度,操作方式相对简便。但是,闸阀的结构相对复杂,密封面的耐用性差。虽然如此,闸阀依然具有较高的适用性。相比于上述阀门,球阀的流体阻力最小,流动性表现最优,因此这种阀门特别适用于节流场合。

4 总结

综上所述,压力管道在石油化工企业的生产中发挥着不可替代的作用,为了避免因压力管道引发石化生产事故,可以从压力管道的设计角度进行着手分析,明确设计流程与要点,有效规避压力管道风险,为保证石油化工生产的稳定性提供可靠的支持。

参考文献:

- [1] 李志峰,王晓博,谢国山.我国法规与API标准对工业管道定期检验要求的区别[J].化工设备与管道,2022,59(1):74-80.
- [2] 袁永健,耿文远,刘素芬,张志伟,丛琳琳,温铁丽.闪蒸罐过滤器腐蚀泄漏原因[J].理化检验(物理分册),2023,59(10):40-44.
- [3] 黄博,刘图,赵轩,王佳,孙博.中俄东线天然气管道工程稻田软土地基下管道应力分析[J].管道技术与设备,2023(2):4-7.
- [4] 孔祥福,岳忠彬,赵永祥,侯新广,林亚彬.石油化工装置管道设计的安全问题及应对策略[J].化学工程与装备,2023(10):215-216.