

浅析石油化工压力管道设计

张 玲

博思特能源装备(天津)股份有限公司 天津 301712

摘 要: 为助力石油化工行业压力管道设计工作更规范高效, 本文围绕石油化工压力管道设计展开研究, 明确了其定义与分类, 指出这类管道具有特定压力、直径特征及输送危险介质的特点, 并按压力、介质、敷设方式等维度分类。阐述了设计要遵循安全性优先、合规性为基础、经济性与可靠性平衡及系统协调性原则。从材料选用、结构计算、应力控制、布置规划、附件配置等方面分析设计要点, 探讨了连接方式及附件与支吊架系统设计。研究旨在为石油化工压力管道设计提供全面参考。

关键词: 石油化工; 压力管道; 设计要点

引言: 石油化工压力管道作为石油炼制、化工生产等工业环节的关键设备, 承担着输送危险介质的重要任务, 其安全稳定运行直接关乎工业生产安全与效率。由于介质危险性高、工况复杂, 管道设计面临诸多挑战。目前相关设计要兼顾多方面因素, 却缺乏系统梳理。本文基于实际设计需求, 从定义分类、设计原则、要点及连接与附件系统设计等方面进行浅析, 为提升管道设计质量提供理论支持。

1 石油化工压力管道定义与分类

1.1 石油化工压力管道的定义

石油化工压力管道是指在石油炼制、化工生产、油气储运等工业环节中, 用于输送具有一定压力和温度的气体、液体或气液混合物的管状设备系统, 其设计、制造和运行需满足特定安全标准。根据《特种设备安全监察条例》及行业规范, 这类管道的核心特征在于工作压力 $\geq 0.1\text{MPa}$ (表压) 且公称直径 $> 25\text{mm}$, 同时输送介质多具有易燃、易爆、有毒、腐蚀性或高温高压特性。

从功能上看, 石油化工压力管道承担着原料输送、反应介质循环、产品导出、公用工程(如蒸汽、氮气)供给等关键任务。与普通工业管道相比, 其突出特点体现在介质危险性高(如丙烯、硫化氢、硫酸等)、工况复杂(常处于 -196°C ~ 800°C 温度范围及超高压环境)、系统关联性强(某一段管道失效可能引发连锁反应), 因此被纳入特种设备监管范畴, 需通过严格的设计审核、安装监检和定期检验保障安全。

1.2 石油化工压力管道的分类

石油化工压力管道可按多个维度分类, 核心分类方式如下: (1) 按压力等级划分, 可分为低压管道($0.1\text{MPa} \leq P < 1.6\text{MPa}$)、中压管道($1.6\text{MPa} \leq P < 10\text{MPa}$)、高压管道($10\text{MPa} \leq P < 100\text{MPa}$)和超高压管道($P \geq$

100MPa)。低压管道多用于公用工程及产品储存环节(如冷却水、低压蒸汽); 高压管道则常见于反应装置(如加氢反应器进出口)和油气长输管线。(2) 按介质特性划分, 包括易燃介质管道(如汽油、乙烯)、有毒介质管道(如氯气、氰化物)、腐蚀性介质管道(如盐酸、烧碱溶液)和高温介质管道(如裂解气、熔融硫)。其中, 易燃与有毒介质管道需额外满足防爆、泄漏控制要求, 腐蚀性介质管道则对材料耐蚀性有严苛规定。(3) 按敷设方式划分, 有架空管道、埋地管道(多用于长距离输送或厂区内管线密集区域, 需防腐和阴极保护)、地沟敷设管道(适用于低温或易凝介质, 需伴热保温)。(4) 按功能用途划分, 可分为工艺管道(直接参与反应或分离过程)、公用工程管道(输送水、电、气等辅助介质)、储运管道(连接储罐与装置的输送管线)及安全管道(如安全阀放空管、紧急切断管道)^[1]。

2 石油化工压力管道设计原则

2.1 安全性优先

管道设计必须将预防泄漏、爆炸等事故作为核心目标。需通过精准的强度计算(如壁厚校核、应力分析)确保管道在操作压力、温度波动下的结构稳定性; 针对易燃、有毒介质, 需设置泄漏检测装置、安全阀等超压保护系统, 并采用防爆型阀门、密封结构; 同时考虑振动控制(如加设减震支架), 避免长期交变载荷导致疲劳破坏。

2.2 合规性为基础

设计需严格遵循国内外规范标准, 如GB50316《工业金属管道设计规范》、ASME B31.3《工艺管道》等, 确保材料选型、焊接工艺、压力试验等环节符合强制性要求。对于特殊介质(如极度危害介质), 需满足额外监管条款, 如增加管道检验频次、采用更高等级的密封

形式。

2.3 经济性与可靠性平衡

在满足安全与合规的前提下,通过优化设计降低全生命周期成本。例如,合理选用材料(如非腐蚀性介质采用碳钢替代不锈钢)、优化管道布置(缩短管线长度减少阻力损失)、采用标准化管件降低采购成本;同时避免过度设计,在可靠性与经济性间找到平衡点,如非关键区域可适当降低冗余度。

2.4 系统协调性

管道设计需与工艺系统、设备布置、土建结构等协同。管线走向应匹配工艺流程,减少不必要的弯头和交叉;与泵、反应器等设备的连接需控制管口载荷,避免设备受损;同时预留检修空间,方便后期维护,确保系统整体高效运行^[2]。

3 石油化工压力管道设计要点

3.1 材料选用要点

石油化工压力管道的材料选用要综合考虑以下方面。(1)依据介质的化学性质确定材料的耐腐蚀性。针对含有酸、碱、盐等腐蚀性成分的介质,应优先选择具有相应耐蚀能力的材料,同时考虑介质浓度和温度对腐蚀速率的影响,必要时通过增加腐蚀裕量或采用衬里、镀层等方式强化防护。(2)材料的力学性能需满足设计压力和温度的要求。在高温环境下,应关注材料的蠕变极限和持久强度,避免长期使用后发生塑性变形;低温工况则需保证材料的冲击韧性,防止脆断。对于承受交变载荷的管道,材料的疲劳强度也是重要指标。(3)材料的加工性能和焊接性能需与制造工艺相适配。焊接连接的管道,其材料应具有良好的可焊性,确保焊接接头强度不低于母材;对于需要冷弯、热煨等加工的管件,材料的塑性应满足成型要求。

3.2 结构计算要点

结构计算是保障管道承载能力的核心环节,需覆盖以下壁厚确定、稳定性校核等关键内容。(1)壁厚计算要以设计压力为基础,结合管道材料的许用应力,按相关规范公式进行计算,同时计入腐蚀裕量、螺纹或法兰连接的附加壁厚。对于承受外压的管道,如真空系统或外部受压的夹套管道,需进行稳定性校核,确保在外部压力作用下不会发生失稳变形,必要时通过增加壁厚或设置加强圈提升稳定性。(2)管道的三通、弯头、异径管等管件的结构计算需单独进行。这些管件因结构形式特殊,局部应力集中明显,需根据其几何参数和受力情况,采用相应的计算方法确定壁厚或进行强度校核,确保与直管段的承载能力相匹配。(3)对于高压管道,

密封结构的计算不可忽视。需根据密封形式(如法兰密封、螺纹密封),计算密封面的比压、螺栓的预紧力等参数,保证密封可靠,防止介质泄漏。

3.3 应力控制要点

应力控制旨在避免管道因应力过大导致破坏,要以下不同类型的应力进行针对性处理。(1)一次应力是由介质压力、管道自重等产生的正应力,其数值需控制在材料许用应力范围内,防止管道发生塑性变形或断裂。计算时需考虑管道运行时的介质重量、保温层重量、附加设备重量等载荷,通过合理设置支吊架平衡载荷分布,降低局部应力。(2)二次应力由温度变化引起的热膨胀或收缩受到约束而产生,其控制重点是限制应力幅值和循环次数,避免管道发生疲劳破坏。需通过计算管道的热伸长量,采用自然补偿(如利用弯头、折角)或人工补偿(如波纹管补偿器、套筒补偿器)的方式释放热应力,确保二次应力在允许范围内。(3)管道与设备连接处的应力要严格控制,避免过大的推力和力矩传递到设备管口,影响设备的正常运行和使用寿命。计算时需考虑管道热胀冷缩、振动等因素对设备管口的作用力,通过调整管道走向、设置柔性接头等方式减少对设备的载荷。

3.4 布置规划要点

管道布置需兼顾安全性、操作性和维护性,同时满足工艺要求和空间限制,具体要点如下:(1)管道走向要符合工艺流程,缩短输送路径,减少不必要的转弯和交叉,降低流体阻力和压力损失。对于易燃、易爆介质的管道,应远离火源和热源,避免布置在人员密集区域上方,且与其他管道保持足够的安全距离,防止事故扩大。(2)管道的敷设方式根据环境条件选择。架空敷设的管道应合理利用管廊、支架等空间,避免影响交通和检修通道;埋地敷设的管道需避开地下构筑物和腐蚀性土壤区域,做好防腐处理和标识;地沟敷设的管道应保证地沟排水通畅,防止积水对管道造成腐蚀。(3)管道布置要考虑操作和维护的便利性,预留足够的检修空间和通道,阀门、仪表等操作部件的位置应便于人员操作和观察。对于需要定期检验的管道,应设置可拆连接或检查孔,方便检测人员进入。

3.5 附件配置要点

管道附件的配置需与管道系统的功能和安全要求相匹配,具体如下:(1)支吊架的选型和布置根据管道的载荷、位移和振动情况确定。承重支吊架应能承受管道的垂直载荷,避免管道下垂;导向支吊架和限位支吊架可控制管道的水平位移,防止管道过度变形;减震支吊

架用于减少设备振动对管道的影响,降低管道的疲劳损伤。支吊架的间距需通过计算确定,确保管道在自重和附加载荷作用下的挠度不超过允许值。(2) 阀门的选择依据管道的介质特性、压力、温度及操作要求。截断阀应具有良好的密封性能,能可靠切断介质flow;调节阀需满足流量调节精度要求;安全阀、爆破片等安全附件的排量和设定压力需与管道系统的超压保护需求相匹配,确保在超压能及时泄放介质,保护系统安全。(3) 管件的选用要符合管道的设计压力和温度等级,其规格尺寸应与管道相匹配,确保流体流动顺畅。弯头的弯曲半径、三通的支管尺寸等参数需满足相关标准,减少局部阻力和应力集中^[3]。

4 石油化工压力管道的连接与附件系统设计

4.1 管道连接方式设计

管道连接方式设计要根据管道的压力等级、介质特性、安装环境及维护需求,选择适宜的连接形式具体如下:(1) 连接方式的选型以压力等级为基础,高压管道宜采用焊接或高强度法兰连接,低压管道可选用螺纹或承插连接。对于输送易燃、有毒介质的管道,连接结构的密封性是设计重点,需采用具有可靠密封性能的形式,如榫槽面法兰或焊接连接,减少泄漏风险。(2) 焊接连接设计要明确坡口形式、焊接材料及焊接工艺参数。坡口尺寸应符合焊接标准,保证焊缝根部熔透;焊接材料的化学成分和力学性能需与母材匹配,避免焊接接头产生裂纹或脆化;焊接工艺需根据材料特性制定,包括预热温度、焊接电流、冷却速度等,确保焊缝质量。焊接后需进行无损检测,检查焊缝内部缺陷。(3) 法兰连接设计要确定法兰类型、垫片材料及螺栓规格。法兰的公称压力和公称直径应与管道一致,密封面形式需根据介质特性选择;垫片材料需具备耐温、耐蚀和适当的弹性,确保在操作条件下保持密封;螺栓的强度等级需满足预紧力要求,预紧力的计算应考虑法兰、垫片的变形特性,避免过紧导致法兰变形或过松引起泄漏。(4) 螺纹连接设计要控制螺纹精度和密封方式。采用符合标准的管螺纹,必要时添加密封填料或采用密封胶带,增强密封性。承插连接需保证承口与插口的配合间隙,采用适宜的密封材料,如橡胶圈或水泥接口,确保连接牢固且密封可靠。

4.2 管道附件及支吊架设计

管道附件及支吊架设计要与管道系统的整体设计相协调,确保附件功能有效、支吊架受力合理,具体设计如下:(1) 管道附件设计要依据管道的设计参数和功能需求,确定附件的规格、材质和结构形式。管件的公称压力、公称直径应与管道匹配,壁厚需满足强度要求,内壁光滑以减少流体阻力。阀门的结构形式需符合操作要求,如截止阀用于截断介质,球阀用于快速启闭,其密封性能和操作扭矩需与介质特性和压力等级适配。

(2) 支吊架设计要根据管道的载荷、位移和振动情况,确定支吊架的类型、布置位置和承载能力。承重支吊架的间距需通过计算确定,确保管道在自重和介质重量作用下的挠度不超过允许值,支撑结构的强度和刚度需满足承载要求。导向支吊架和限位支吊架的设置需与管道的热胀冷缩位移相适应,限制管道的非预期位移,避免管道与其他设备或结构发生碰撞。(3) 减震支吊架设计要针对振动源(如泵、压缩机)附近的管道,通过选用具有减震功能的支吊架,降低振动传递,减少管道的疲劳损伤。支吊架与管道的连接方式需牢固可靠,可采用焊接或螺栓连接,确保在振动工况下不松动。(4) 附件及支吊架的材料选择要与管道材料相匹配,考虑介质腐蚀、环境温度等因素,选用耐蚀、耐热的材料,如碳钢、不锈钢或合金材料^[4]。

结束语:石油化工压力管道设计是一项系统工程,涉及定义分类、设计原则、要点及连接与附件系统等多方面内容。各环节紧密关联,需协同考量以确保管道安全、可靠、经济运行。随着石油化工行业发展,管道设计需不断优化。未来可结合新技术,进一步完善设计体系,为行业安全生产提供更坚实的保障,推动石油化工产业持续健康发展。

参考文献

- [1]李洪昌,王晓迎.石油化工压力管道柔性设计的浅析[J].化工设计通讯,2019,45(3):27-28.
- [2]王素红,钱忠平,王文军,等.石油化工压力管道柔性设计的浅析[J].魅力中国,2020(40):448-449.
- [3]王金宝.石油化工压力管道柔性设计的浅析[J].中国化工贸易,2019,11(18):44-45.
- [4]王永亮.石油化工压力管道设计中相关安全问题分析[J].当代化工研究,2024(20):109-111.