

石油化工储罐区工艺与配管技术要点研究

刘宇航 孙志洁 (山东联合能源管道输送有限公司, 山东 烟台 264000)

摘要: 石油化工储罐区作为原料存储、中转及产品输出的核心枢纽, 其工艺设计合理性与配管技术规范直接决定生产系统安全性、稳定性及经济性。本文基于石油化工行业相关标准规范, 系统分析储罐区工艺设计核心原则与关键环节, 重点阐述配管系统选材、布置、安装及安全控制技术要点, 结合冗余设计、柔性连接等先进技术要求优化技术方案, 研究结果可为储罐区工程设计、施工建设提供技术参考, 助力提升本质安全水平。

关键词: 石油化工; 储罐区; 工艺设计; 配管技术

中图分类号: TE972 **文献标识码:** A **文章编号:** 1674-5167 (2026) 005-0138-03

Research on Key Technologies of Process and Piping in Petrochemical Tank Farms

Liu yuhang, Sun zhijie (Shandong United Energy Pipeline Transportation Co.,LTD,Yantai Shandong 264000,China)

Abstract: As the core hub for raw material storage, transit and product output, the rationality of process design and standardization of piping technology in petrochemical tank farms directly determine the safety, stability and economy of the production system. Based on the relevant standards and specifications of the petrochemical industry, this paper systematically analyzes the core principles and key links of process design for tank farms, focuses on elaborating the technical points of material selection, layout, installation and safety control of piping systems, optimizes the technical scheme in combination with advanced technical requirements such as redundancy design and flexible connection. The research results can provide technical reference for the engineering design and construction of tank farms, and help improve the intrinsic safety level.

Key words: Petrochemical industry; Tank farm; Process design; Piping technology

石油化工储罐区承担原油、成品油等介质存储任务, 介质多易燃、易爆、有毒、腐蚀性强, 属高风险作业区域。近年来, 产业规模扩大使储罐区容量增加、介质复杂, 对工艺设计与配管技术要求提高。统计显示, 70%以上石化安全事故与储罐区工艺或配管问题有关, 会造成经济损失、威胁人员安全。工艺设计是储罐区建设基础, 决定系统效率与安全, 需考量多因素; 配管技术贯穿施工, 其选材、布置、安装影响管道寿命与可靠性。因此, 研究储罐区工艺与配管技术要点、遵循标准、优化方案, 对保障生产、提升安全具有重要意义。本文结合相关行业标准, 从工艺设计、配管技术、安全保障及运维管理等方面详细论述。

1 石油化工储罐区工艺设计要点

1.1 工艺设计基本原则

储罐区工艺设计需遵循安全优先、经济合理、技术先进、符合规范的核心原则。安全优先要求考虑介质危险特性, 设置紧急切断阀等安全防护设施, 避免安全事故; 经济合理强调在满足安全与生产要求下, 优化流程布局, 减少投资与能耗; 技术先进要求采用成熟工艺技术与设备, 提升自动化与稳定性; 符合规范要求严格遵循国家及行业标准, 确保合规性。同时, 工艺设计要兼顾系统性与灵活性, 保证工序协调配合以满足连续生产, 又要适应介质种类、存储量变化。

如多品种介质存储采用分区布置工艺, 设置独立输送管道与阀门系统, 实现单独管控。

1.2 储罐选型与布局设计

储罐选型需根据存储介质特性、设计压力、温度及存储容量等参数确定, 常见储罐类型的适配标准可参考表 1, 不同类型储罐在适用介质、使用优缺点及应用场景上存在明确差异, 可直接作为选型依据。

其中浮顶罐与内浮顶罐密封性好, 能减少挥发性介质损耗与环境污染, 广泛用于原油、汽油等甲、乙类可燃液体存储; 拱顶罐适用于存储挥发性弱的丙类液体或常压下不易挥发的介质; 卧式储罐多用于小容量存储或场地受限场景。另外布局设计要遵循防火间距要求, 依据 GB 50160—2008 标准, 储罐间、储罐与周边建筑物等的距离要满足防火安全要求, 合理划分防火堤与隔堤, 每个防火堤内的储罐数量与总容量需符合规范限制, 如甲、乙类液体储罐组内储罐不超 12 座, 单罐容量 $> 1000\text{m}^3$ 时, 储罐间距 $< 0.8D$ (D 为储罐直径)。同时布局设计还需考虑工艺流程合理性, 缩短介质输送路径, 减少管道弯头与阻力损失, 预留足够操作空间与检修通道, 方便后期运维。

1.3 工艺流程设计

工艺流程设计要明确介质接收、存储、输送及排放等核心环节, 确保流程顺畅、操作便捷、安全可控。

其中介质接收流程需根据管道输送、铁路罐车、公路罐车、船舶运输等运输方式设计接卸系统,配备泵、阀门、流量计等专用设备,设置过滤装置去除杂质,避免损坏设备与管道;存储流程要根据介质特性控制储罐液位,设置高、高高、低、低低四级报警功能,液位达阈值时及时报警并联动控制设备,防止介质溢出或泵抽空。介质输送流程需合理选泵,根据介质黏度、流量、扬程等参数确定泵的类型与规格。同时输送管道要设置阀门与仪表调节流量、控制压力,在管道高点设放空阀、低点设排污阀,便于管道吹扫与维护。排放流程要设计油污回收系统与污水处理设施,对储罐清洗废水、管道排污等集中处理,达标后排放,避免环境污染。

2 石油化工储罐区配管技术要点

2.1 配管选材技术

配管选材需综合考量介质特性、工作压力、温度、腐蚀环境等要素,以确保管道材料具备充足的强度、韧性与耐腐蚀性。常见的管道材料包括金属管、塑料管和复合管等。金属管具有高强度、耐温耐压的特性,在石油化工储罐区得到广泛应用。其中,碳钢管适用于输送常温常压的非腐蚀性介质;不锈钢管适用于输送具有腐蚀性或处于高温高压状态的介质;合金钢管则用于输送特殊工况下的介质。针对强腐蚀性介质,可选用塑料管或复合管,如聚氯乙烯(PVC)管、聚乙烯(PE)管、钢衬塑复合管等,此类管材具有良好的耐腐蚀性、较轻的重量且安装便利。此外,阀门选材应与管道材料相适配,可燃液体管道宜采用钢阀,腐蚀性介质管道则应选用耐腐蚀阀门,如衬氟阀门、陶瓷阀门等。此外,选材应遵循经济性原则,在满足使用要求的前提下,选择性价比高的材料,以降低工程成本。

2.2 配管布置技术

配管布置需遵循安全可靠、操作便捷、经济合理的原则,以满足工艺流程及相关规范要求。管道宜采用地上敷设方式,当采用管墩敷设时,墩顶应高出设计地面不低于300mm,以便于检修与排水;主管道固定点应靠近罐前支管道设置,以降低接口应力;防火堤和隔堤不宜作为支撑点,管道穿越堤处应设置钢制

套管,套管长度应不小于堤厚,且两端需进行密封处理,以防止渗漏。罐前支管道坡度应 $\leq 5\%$,并坡向主管道带,有利于排水与吹扫;储罐进出口管道应采用柔性连接方式,如设置金属软管、弹簧支吊架等,以适应地基沉降和抗震需求。管带应设置跨桥,桥底与管顶(或保温层顶面)的距离应 $\leq 80\text{mm}$,以方便人员通行与操作。此外,管道布置应避免与电气、仪表线路产生交叉干扰,并与热管道保持安全距离,以防止高温对管道寿命产生影响。

2.3 配管安装技术

在管道安装作业前,需预先完成相应的技术准备工作。组织专业技术人员对施工图纸展开全面、细致的审核,着重核查管道的型号与规格是否与设计要求相符,确保所使用材料的质量符合标准。

在管材切割作业时,需依据管材管径大小合理选择切割方法。当管材直径 $\leq 200\text{mm}$ 时,可采用等离子切割法;若管材直径 $< 200\text{mm}$,则宜选用机械切割方式。切割作业完成后,应对切口进行打磨处理,直至切口表面呈现金属光泽,随后按照焊接工艺要求加工出焊接坡口。如此操作,可有效降低焊接过程中额外应力的产生,提升焊接结构的安全性。

在管道组对过程中,应使用专用夹具进行操作,严格控制错边量,使其满足错边量 $\leq 0.1\delta$ 且 $\leq 1\text{mm}$ (δ 为管道壁厚)的要求。对于不锈钢管组对,为防止污染,在使用碳钢工具时需垫置不锈钢垫片。

焊接是配管安装的核心工序。对于碳钢管,可采用手工电弧焊进行焊接;对于不锈钢管,宜采用氩电联焊工艺。在进行异种钢焊接时,应选用合适的焊条,例如在碳钢与不锈钢焊接时,可选用E309Mo-16焊条。焊接过程中,需严格控制焊接参数,以保证焊缝质量。焊接完成后,应在24h内进行外观检查,对固定口进行100%射线检测,对活动口进行20%射线检测。对于检测不合格的焊缝,应及时进行返修,且同一部位的返修次数不得超过2次。

在阀门安装方面,截止阀和止回阀应按照介质流向进行安装,阀杆应保持垂直向上或倾斜 45° 。安全阀在安装前需进行整定校验,并确保铅封完好。在防

表1 常见石油化工储罐类型及适用介质对照表

储罐类型	核心适用介质	核心优缺点	适用场景
拱顶罐	柴油、润滑油等丙类液体	优点: 结构简单、造价低; 缺点: 密封性差、介质损耗大	常压环境、挥发性弱介质小容量存储
浮顶罐	原油、汽油等甲B类可燃液体	优点: 密封性好、损耗低、安全性高; 缺点: 结构复杂、维护成本高	大容积常压存储、易挥发易燃液体
内浮顶罐	航空煤油、溶剂油等易挥发液体	优点: 兼具拱顶罐防护性与浮顶罐密封性; 缺点: 制造成本较高	对密封要求高的易挥发、易燃介质存储
卧式储罐	化工助剂、小批量成品油	优点: 占地小、安装便捷; 缺点: 单罐容量小	场地受限、小容量介质存储或辅助存储

注: 表中介质分类参照GB50160-2008《石油化工企业设计防火标准》划分

爆区域, 阀门应选用防爆型电动执行机构, 其防护等级不应低于 IP66。

对于储罐进料管, 宜从罐体下部接入。内浮顶储罐的扫线管道以及温度 $\geq 120^{\circ}\text{C}$ 的可燃液体进罐管道, 应从罐顶或罐体上部接入。同时, 甲 B、乙、丙 A 类液体的进料管应延伸至距罐底 200mm 处, 以防止介质冲击产生静电。

2.4 防腐与保温技术

管道的防腐与保温是确保管道使用寿命及运行安全性的关键环节。在防腐处理前, 需对管道表面实施喷砂除锈操作, 使其达到 Sa2.5 级标准, 并将表面粗糙度控制在 50—80 μm 范围内, 以去除铁锈、油污等杂质, 进而提升涂层的附着力。防腐涂层体系应依据介质特性以及环境条件加以选择, 较为常用的组合为环氧富锌底漆 (80 μm) + 环氧云铁中间漆 (120 μm) + 聚氨酯面漆 (80 μm), 干膜总厚度需 $\geq 280 \mu\text{m}$, 附着力需 $\geq 5\text{MPa}$ (采用划格法进行测试)。对于强腐蚀环境, 可采取防腐带缠绕或包覆等加强防护措施。

此外, 保温施工应根据管道介质的温度来选择保温材料, 针对高温介质可选用硅酸铝棉, 对于常温介质则选用离心玻璃棉, 保温层的厚度需通过热力计算来确定。施工过程中, 需采用分层错缝包扎的方式, 确保接缝间隙 $\leq 5\text{mm}$, 使用镀锌铁丝进行绑扎, 绑扎间距 $\leq 200\text{mm}$ 。保护层采用 0.5mm 厚的铝皮, 搭接宽度为 50mm, 采用咬口连接方式以防止雨水侵入。伴热管道应与工艺管道平行安装, 两者间距为 100mm, 以确保加热均匀, 防止介质出现结晶或凝固现象。

3 储罐区工艺与配管安全保障技术

3.1 液位测量与联锁控制

储存易燃、易爆、有毒介质的储罐, 应配备两种采用不同测量原理的液位仪表, 例如雷达和伺服液位计, 各自独立设置且互为备用, 以保障液位测量的可靠性。液位仪表需具备高、高高、低、低低四级报警功能, 借助冗余机制接入控制系统, 联动控制安全装置。对于大型或高风险介质储罐, 液位测量应纳入 SIS 系统, 达到 SIL2 或 SIL3 等级要求。常压 / 低压储罐至少配置两套连续液位仪表, 或者一套连续仪表加两套液位开关; 压力储罐设置两套连续仪表加一套高高液位开关, 或者三套连续测量设备; 全冷冻储罐至少配置三套液位仪表, 其中两套为连续测量仪表, 用于报警与联锁控制。另外, 液位测量系统需与可燃、有毒气体检测系统联动, 当液位异常导致介质泄漏时, 及时触发紧急联锁, 切断进料阀, 启动应急处理系统的。

3.2 泄压与防超压措施

管道内液体因温度变化体积会膨胀超压, 对此类

管道应采取泄压手段, 例如安装安全阀、爆破片等泄压设备, 并将泄压口引至安全位置或火炬系统, 避免介质直接排放引发危险。储罐的放水管需设置双阀, 以保证可靠切断, 防止误操作导致介质泄漏。浮顶罐浮顶排水装置的出口管道应安装钢闸阀, 避免排水时介质溢出。通气管的设置需符合规范要求, 卧式储罐通气管的公称直径依据最大进出流量确定, 单罐 $< 50\text{mm}$, 多罐共用干管则 $< 80\text{mm}$; 横管需坡向储罐, 坡度不低于 5‰; 管口距离本设施内建筑物门窗等洞口 $< 4\text{m}$, 其设置高度须满足规定。

3.3 防静电与防爆措施

管道系统应设置完善的防静电接地装置, 其连接处如两端、阀门、法兰等需进行跨接处理, 接地电阻不得超过 10Ω , 以防止静电积聚产生火花。防爆区域内的电气设备、仪表及阀门执行机构须满足防爆等级要求, 防护等级应不低于 IP65, 避免因电气火花导致爆炸风险。此外, 管道吹扫与置换需使用惰性气体 (如氮气), 吹扫流速不得低于 20m/s , 持续吹扫直至靶板上无铁锈、尘土等杂质, 确保无残留介质或可燃气体。在蒸汽清洗储罐时, 需配置 $< \text{DN}20$ 的蒸汽甩头, 甩头与罐排污孔的距离不宜超过 20m; 对于软密封的浮顶罐或内浮顶罐, 至少应设置 1 个 $< \text{DN}20$ 的蒸汽管道接口, 用于熏蒸软密封的。

4 结论

石油化工储罐区工艺与配管技术是安全稳定运行的核心, 工艺设计需遵循四大原则, 合理选型储罐与优化布局; 配管技术需把控选材、布置、安装、防腐保温关键点; 安全保障需落实液位联锁、泄压防超压、防静电防爆措施, 严格遵循行业标准。结合工况优化技术方案, 可有效提升储罐区安全管控水平, 为石油化工生产安全提供保障。未来, 随着行业发展, 应加强工艺与配管技术创新研究, 开发更优技术方案, 支撑石油化工产业可持续发展。

参考文献:

- [1]SH/T 3007-2014. 石油化工储运系统罐区设计规范 [S]. 北京: 中国建筑科学研究院建筑防火研究所, 2014.
- [2]GB/T 50493-2019. 石油化工可燃气体和有毒气体检测报警设计标准 [S]. 北京: 国家市场监督管理总局, 2019.
- [3]SH/T 3184-2017. 石油化工罐区自动化系统设计规范 [S]. 北京: 中国工业和信息化部, 2017.
- [4]GB 50235-2010. 工业金属管道工程施工规范 [S]. 北京: 中国住房和城乡建设部, 2010.
- [5]GB 17681-2024. 危险化学品重大危险源安全监控技术规范 [S]. 北京: 中国应急管理部, 2024.