

# MTBE 装置甲醇回收塔工艺管道布置 对操作安全的影响分析

钟京涛 时晓杰 (山东齐鲁石化工程有限公司, 山东 淄博 255400)

**摘要:** MTBE 装置运行阶段, 甲醇回收塔工艺管路布置与操作安全性直接关联。甲醇固有的易燃易爆挥发性, 叠加塔器气液分离的工艺特性, 决定管路布置的基础准则。管路布置状态深刻影响泄漏风险防控成效、压力温度调控稳定性及应急操作便捷程度。针对这些核心影响因素, 可通过关键节点工艺改良、安全设施协同配置、运维适配性优化等路径完善。相关优化思路能为提升装置安全运行效能、压低事故发生概率提供技术保障, 支撑装置实现长周期稳定运行。

**关键词:** MTBE 装置; 甲醇回收塔; 管道布置安全

**中图分类号:** TE6 **文献标识码:** A **文章编号:** 1674-5167 (2026) 007-0160-03

## Analysis of the Impact of Process Pipeline Layout of the Methanol Recovery Tower in the MTBE Plant on Operational Safety

Zhong Jingtao, Shi Xiaojie (Shandong Qilu Petrochemical Engineering Co., Ltd., Zibo Shandong 255400, China)

**Abstract:** MTBE plant operation ties piping arrangement of methanol recovery tower tightly to operational security. Flammability and volatility of methanol, alongside gas-liquid separation process specifications for tower apparatus, guide definition of essential piping arrangement criteria. Core effects on leakage hazard mitigation, pressure-temperature control stability and emergency maneuverability undergo examination. Targeted optimization approaches emerge: key node refinement, safety facility arrangement coordination, operational and maintenance adaptability enhancement. These measures elevate plant safe operation standards, curtail accident incidence, and underpin sustained secure plant operation.

**Keywords:** MTBE plant; methanol recovery tower; piping arrangement security

石油化工生产中 MTBE 装置甲醇回收塔负责甲醇分离回收关键任务, 工艺管道布置合理性直接关联装置操作安全。甲醇具有易燃、易挥发危险特性, 管道布置不当易引发泄漏、压力温度失控及应急处置受阻等安全隐患, 对生产安全构成严重威胁。本文立足管道布置基础要求, 分析其对操作安全核心影响, 探索安全导向优化方案, 为工程实践中甲醇回收塔管道安全布置提供科学依据与实践指导。

### 1 MTBE 装置甲醇回收塔工艺管道布置基础要求

MTBE 装置甲醇回收塔工艺管道布置基础要求, 需紧扣甲醇易燃易爆挥发性与塔器气液分离工艺核心。材料选用需适配介质腐蚀性与工艺工况, 优先选取甲醇兼容性佳的管材, 规避不同材质管道直接接触诱发的电蚀问题, 焊缝经严格检测保障密封性能, 防范介质渗漏风险<sup>[1]</sup>。管道布置契合流体力学基本原理, 沿设备框架集中架空敷设, 走向短直以降低阻力, 杜绝易积聚介质的口袋状结构, 合理设定坡度保障物料顺畅流动, 避免积液滞留诱发安全隐患。塔体各接口管道贴合工艺逻辑, 进料管道沿塔体切线方向接入, 削弱对塔内填料或塔板的冲击, 回流管道配置专用缓冲结构, 使介质平缓进入塔内, 规避液位剧烈波动。

塔顶气相管道力求简洁通畅, 减少冷凝液滞留可能, 塔底出料管道避开裙座支撑区域, 防止管道应力传递影响塔体稳定性。需预留充足操作与检修空间, 管道布置不遮挡设备操作点与应急通道, 阀门集中于便于操作的区域, 操作频繁与关键控制阀门保持适宜间距。管道低点设排凝阀, 高点布放空阀且放空口远离人员密集区域, 冷热管道分置, 保温管道保留合理间距, 保障运维过程中人员安全与操作便捷性。

### 2 工艺管道布置对操作安全的核心影响

#### 2.1 泄漏风险防控关联

MTBE 装置甲醇回收塔工艺管路布置中, 泄漏风险防控需依托布设设计从源头化解隐患, 各项实践手段均紧扣甲醇易燃易爆挥发本质属性。管路衔接节点的布设直接左右泄漏发生概率, 焊接接头优先选用对接焊工艺, 规避角接或搭接焊在密封性能上的先天不足, 焊接点位需避开塔体裙座、支架等应力集中区域, 同时远离高温设备与蒸汽管路, 防止接头长期受高温作用出现老化开裂。法兰衔接部位应设置在人员可近距离检查的区域, 避免被其他管路或设备遮挡, 法兰密封面需与管路介质流向保持垂直, 螺栓紧固方向保持一致, 确保受力均衡。管路排布严格遵循“无死端、

少拐弯”原则，杜绝形成“U”型或“倒U”型积液段落，所有低点均设置排凝接口，通过短管与应急收集槽连通，高点预留放空通道，避免介质滞留引发局部腐蚀或压力积聚诱发泄漏。

塔体邻近的关键接口管路采用柔性衔接构造，削减塔体振动向管路传递引发的密封松动问题，管路与塔体接口处的保温层预留检修窗口，方便定期检视密封状态。腐蚀环境敏感区域内，管路需避开酸性水排放口、含硫介质管路等腐蚀源头，必要时采取套管防护措施，套管与主管之间预留通风间隙，防止腐蚀介质积聚侵蚀管壁。密封材料选型与布置形式需精准适配，高压管路接口采用金属缠绕垫片搭配榫槽面法兰，低压管路选用聚四氟乙烯垫片，垫片铺设确保与法兰密封面全面贴合，规避因管路布置不合理导致垫片受力失衡。泄漏检测系统接口随管路布置同步预留，法兰、阀门填料函、焊接接头等关键部位预设检测探头安装点位，探头线缆沿管路支架固定排布，避免线缆拖拽造成接口松动。

## 2.2 压力温度控制稳定性

工艺管路布置优化流体流动形态与热交换效能，直接维系甲醇回收塔操作压力与温度的稳定状态，各项实践手段均紧扣塔器气液分离的核心工艺诉求。管路走向以短直为首要原则，最大限度减少冗余弯头与阀门配置，塔顶气相管路与塔底液相管路避免迂回绕行，降低流体沿程阻力损耗，防范因流体阻滞引发塔内压力异常攀升。管径选取与介质流量实现精准适配，进料管路布置确保管径呈渐变过渡形态，规避管径突然扩缩导致的流速突变现象，进而抑制压力波动产生。回流管路、蒸汽伴热管路等对温度敏感的管路系统，采用“平行排布+间距均匀”的布置方式，回流管路靠塔体一侧敷设，预留充足长度的缓冲区段，使介质以平缓状态进入塔内，避免冲击塔板或填料引发液位震荡，间接保障塔内压力稳定<sup>[2]</sup>。

蒸汽伴热管路紧贴工艺管路外壁，采用螺旋缠绕或平行敷设模式，确保两者间良好热传导接触，同时避免局部过度缠绕造成介质局部过热，破坏塔内温度均衡状态。压力调节阀门布置靠近塔体出口位置，缩短调节响应滞后时间，阀门前后管路预留充足直管区段，保障阀门开度调整时流体流动平稳，杜绝喘振现象发生。管道膨胀节依据温度变化区间合理设置，布设于塔体接口附近、长距离管路中段等应力集中部位，通过膨胀节吸收热胀冷缩产生的位移量，防范管路变形引发压力密封失效问题。温度监测点位随管路布置同步优化，在进料管路、回流管路、塔顶气相管路等关键区段设置监测接口，接口朝向便于仪表安装与读

数的方位，远离阀门、弯头等局部阻力构件，避免局部流体扰动影响温度检测精度。塔顶冷凝回流管路存在相变现象，布设需保证管路坡度均匀一致，确保冷凝液顺畅回流，规避积液导致换热效率下滑，进而诱发塔内温度波动。不同温度等级管路分开排布，高温管路与低温管路保持安全间距，避免热量传递相互干扰，高温管路外侧加装保温层，保温层接口与管路接口错开敷设，防止保温层破损造成局部温度失衡。

## 2.3 应急操作可达性保障

工艺管道布置的核心导向是“人员快速响应、操作安全便捷”，科学规划空间布局与设备点位，为应急处置筑牢基础。关键阀门布置是核心环节，紧急切断阀、泄压阀、排凝阀等应急阀门需设置在人员易触及高度，避免过高或过低造成操作阻碍，阀门手柄朝向保持统一，远离管道焊缝与高温区域，防范操作时发生烫伤或磕碰。阀门之间预留充足操作间隙，保障人员应急状态下快速切换阀门，不与相邻管道或设备产生干涉。管道布置严格规避应急通道与设备检修平台，主通道宽度不因管道敷设而缩减，确保事故状态下人员快速通行、疏散，管道不遮挡消防设施、应急照明与报警装置，消防栓、灭火器等设备周围预留足够操作空间，不占用消防作业区域。

仪表与控制设备布置兼顾可视性与实操性，压力变送器、温度指示器等核心仪表安装于人员视线可及范围，不被管路遮挡，仪表线缆沿管路支架规整敷设，不缠绕阀门操作构件。紧急停车按钮与联动控制开关设于醒目方位，与管路保持安全间距，防范误触或管路泄漏影响操作安全性。管路布置预留应急处置空间，塔体周边规划充足区域满足应急工具作业需求，管路下方不设置封闭空间，避免泄漏介质积聚无法排出。紧急切断系统管路衔接经科学设计，切断阀与塔体接口间的管路长度尽可能缩短，减少切断后管路内残留介质体量，切断阀侧方设置泄压接口，便于应急状态下排空管路内压力<sup>[3]</sup>。

## 3 安全导向的管道布置优化路径

### 3.1 关键节点布置方案优化

关键节点布设优化瞄准塔体接口、管路衔接部位、介质转向处等核心区域，结构改良与布局调整从源头强化安全冗余。塔体进料接口管路采用偏心异径管衔接，确保介质流入时沿塔壁均匀分布，削弱对塔内构件的冲击作用，管路与塔体连接处设置可调节支架，依托支架的水平与垂直微调功能抵消安装偏差，避免接口产生附加应力。管路转弯处优先选用大曲率半径弯头，替代直角弯头降低介质流动阻力与局部湍流现象，弯头外侧加装防护套，防范介质冲击导致的管壁

减薄问题, 布设位置避开人员巡检必经路线, 减少泄漏时的风险暴露范围。

法兰衔接节点优化为带定位销的构造, 确保对接时密封面精准贴合, 螺栓选用对称分布的高强度双头螺栓, 头部预留扳手操作空间, 规避管路密集造成的紧固阻碍。管路高低点处理进一步细化, 低点排凝阀采用带保温夹套的设计, 防止低温环境下介质冻结堵塞, 排凝管路与应急收集系统通过快速接头衔接, 保障泄漏时快速切换收集路径; 高点放空阀延伸至安全排放高度, 走向避开设备操作平台与仪表区域, 放空口加装防雨帽与防火罩, 杜绝杂物进入或意外点火引发危险。长距离输送管路中段设置防晃支架, 间距根据管路材质与管径科学设定, 避免介质脉动导致的管路振动, 振动敏感区域管路采用弹性吊架, 通过吊架缓冲作用吸收振动能量, 保护衔接节点密封性能。

### 3.2 安全设施协同布置设计

安全设施协同布置着重于工艺管路与检测、消防、应急系统的有效融合, 打造全域无死角的安全防护网络。甲醇泄漏检测系统的规划落实要与管路敷设进程同步, 对于法兰密封面、阀门填料函、焊接接头等易泄漏处, 将检测探头直接装在管路支架上, 让感应面贴合管路外壁, 其主要目的是尽快捕捉泄漏信号, 在探头与管路保温层间预留通风间隙, 防止因温度干扰产生检测误差。消防设施的布置要精准对应管路风险区域, 像塔顶气相管路、塔底液相管路等重点部位, 消防水喷淋管路沿着管路走向平行铺设, 喷淋头均匀间隔布置, 保证管路任何部位泄漏时水雾都能全面覆盖, 消防水管路和工艺管路保持安全距离, 防止运行时相互干扰。应急切断系统与管路接口紧密对接, 紧急切断阀锁定塔体和工艺管路间的最近连接点, 在阀门前后预留足够直管段, 保证切断动作迅速有效, 切断阀控制按钮和管路泄漏检测探头建立联动机制, 控制按钮设置在操作岗位和应急通道交汇处, 便于人员快速操作启动。泄压系统升级为分级泄压体系, 主泄压阀连接管路高点, 在长距离管路中段设置副泄压阀, 泄压管路统一接入火炬系统, 走向避免直角转弯, 降低泄压阻力损耗, 在泄压阀附近设置压力指示仪表, 帮助人员实时监测管路压力情况<sup>[4]</sup>。安全标识配套与管路敷设进程同步, 在管路转弯处、介质流向变化点、关键阀门周围, 将标识牌直接安装在管路支架上, 标识内容清晰标明介质名称、危险特性和应急处理办法, 采用耐腐蚀材料制作标识牌, 确保长期使用时清晰可见。

### 3.3 运维适配性布置改进

运维适配性调整着重于操作便捷与检修安全, 经空间规划和结构改良消除运维隐患; 精准把控相邻管

道中心间距, 使管外壁间距契合检修工具作业空间要求, 在阀门、法兰等高频维护组件周边预留检修区, 宽度不低于人体操作范围, 避免因管道密集致使维护时肢体刚蹭、工具操作受限。将操作频繁的控制阀门安装高度统一, 手柄朝通道方向, 避开设备与墙体遮挡; 为安装位置较高的阀门配备可拆卸操作平台, 平台与管道支架稳固连接, 保障人员操作稳定。

管道保温层运用模块化设计, 在法兰、阀门、焊接接头等检修部位配置分块式保温块, 块体以搭扣式固定连接, 局部检修不用拆除整体保温层, 外表面标注检修口标识, 以实现检修快速定位与操作便捷; 统一规划巡检通道与管道布置, 沿管道走向设置专用巡检步道, 步道宽度能满足单人双向通行, 避开管道泄漏风险区, 节点处设巡检停留站点, 站点预留工具存放区和应急通讯设备安装位置, 确保巡检作业高效开展。

工艺管道预留标准化临时作业接口, 接口用盲板密封并配外侧防护盖, 布置兼顾临时管道连接和设备架设便利, 附近标注接口规格与介质参数; 管道支架布置关注运维安全, 间距根据管道重量和振动特性按需确定, 避免过度密集遮挡巡检视线, 支架底部加装防滑踏板方便人员攀爬检修, 架体预留线缆固定位置防止运维阶段线缆拖拽使管道接口松动<sup>[5]</sup>。

## 4 结语

MTBE 装置甲醇回收塔工艺管道布置, 是保障操作安全的关键, 设计精准度会直接影响泄漏防控、参数稳定维持以及应急响应效果, 采取优化关键节点、协同配置安全设施、改进运维适配性等实操方案, 能弥补传统布置的不足, 从设计源头上强化安全保障, 规范开展管道布置设计并落实优化措施, 可降低安全风险, 确保装置稳定高效运行。这些设计思路和实操方案, 能为同类塔器及化工装置的管道安全布置提供参考, 满足工程实践需求。

### 参考文献:

- [1] 李林, 孙丽琳, 薛金召, 张尚勇. 甲基叔丁基醚 (MTBE)/ 轻汽油醚化装置腐蚀原因分析及解决措施 [J]. 精细石油化工进展, 2025, 26(2): 37-41.
- [2] 孙志强. MTBE 装置生产工艺的优化 [J]. 石油石化物资采购, 2025(6): 19-21.
- [3] 祁有彬. MTBE 装置甲醇回收系统腐蚀研究 [J]. 化工管理, 2022(12): 108-110.
- [4] 范颀. MTBE 装置综合能耗优化措施 [J]. 山西化工, 2024, 44(7): 215-217+224.
- [5] 韩博宏. 分析 MTBE 装置的节能降耗策略 [J]. 石油石化物资采购, 2024(15): 131-133.