

化工工艺管道设计风险分析与安全对策研究

童熹琛 成贤君（浙江工程设计有限公司，浙江 杭州 310002）

摘要：化工工艺管道在化工生产系统中占据重要地位，其设计合理性与安全性犹如建筑根基，直接关联化工生产的平稳运行以及人与环境的安危，在具体设计过程中，管道材料选择需兼顾耐腐蚀性与强度等多个特性，压力设定必须精准匹配工艺要求以杜绝超压风险，布局构思要考量空间利用效率和后续维保便捷性，应力剖析意在避免管道因受力失衡而损坏，各环节均暗藏潜在问题，本文在拆解这些风险因子之后，围绕管道材质、承压能力、布置方式以及受力状况所暴露的问题，提出相应的安全举措，旨在增强化工工艺管道设计的安全可靠性，削减事故发生概率，助力化工行业安全生产筑牢防线。

关键词：化工工艺管道；设计风险分析；安全对策

中图分类号：TE88 **文献标识码：**B **文章编号：**1674-5167 (2025) 021-0139-03

Research on Risk Analysis and Safety Countermeasures of Chemical Process Pipeline Design

Tong Xichen, Cheng Xianjun (Zhejiang Engineering Design Co., Ltd., Hangzhou Zhejiang 310002, China)

Abstract: Chemical process pipelines play an important role in the chemical production system. Their design rationality and safety are like the foundation of buildings, directly related to the smooth operation of chemical production and the safety of people and the environment. In the specific design process, the selection of pipeline materials needs to take into account multiple characteristics such as corrosion resistance and strength. The pressure setting must be accurately matched with the process requirements to eliminate overpressure risks. The layout concept should consider space utilization efficiency and subsequent maintenance convenience, aiming to enhance the safety and reliability of chemical process pipeline design, reduce the probability of accidents, and help the chemical industry build a solid defense line for safety production.

Keywords: chemical process pipeline; Design risk analysis; safety countermeasures

化工行业在国民经济中占据重要地位，如同支撑众多产业的基石，其重要性不言而喻，化工工艺管道在生产过程中承担着传输物质与能量的任务，犹如血液流通的脉络确保整体正常运作，近年来化工产业蓬勃发展，规模持续扩张，技术也变得更加复杂精细，这种发展趋势令工艺管道设计承受巨大考验，选材不当、管径核算失误或布局混乱无序等情况都可能引发泄漏、爆炸或者火灾等诸多严重后果。这些事故一旦发生，后果将难以预测，工厂设施或许会遭受重创，经济上的损失也会十分庞大，周边工作人员的生命安全更会陷入重重危机，周围的生态环境可能面临持久且难以复原的损害，因而对化工工艺管道设计展开风险剖析，并据此制定出高效的安全策略，其意义不容小觑。

1 化工工艺管道设计风险分析与安全的重要性

化工工艺管道设计的风险分析与安全控制在化工生产体系中占据重要位置，其不仅牵涉行业前行的稳定性，还涉及人员生命安全保障以及生态环境健康维护等多个方面，管道设计若存在缺陷，犹如隐藏于系统深处的暗礁，随时可能触发连锁反应，而充分考量潜在风险，则能够在源头扼制隐患蔓延，为整体运行铺设一道隐形屏障，并以动态监测结合预防性措施保

障各环节顺利衔接，进而实现多维度兼顾与平衡推进。

从事故预防的角度来看，化工生产涉及诸多危化品与复杂的工艺环节，稍有不慎就可能触发严重后果，工艺管道作为物料输送的核心通道，一旦因设计缺陷出现泄漏或破裂等问题，往往会带来爆炸、火灾或者毒物扩散等连锁反应，像某化工园区曾出现的管道泄漏事件中，由于管道连接部位强度不足，经不住高压物料的持续冲击而突然爆裂，泄漏的可燃气遇明火瞬间引燃，不仅使周边设施损毁殆尽，还造成数十人伤亡，环境污染也极为严重，直接经济损失高达到数亿元，细致的风险评估可以提前识别管道材料选择、承压能力设定以及路径规划等方面的问题，并通过优化设计将隐患消解于无形，确保类似悲剧在其发生之前就被有效遏制。

化工生产平稳运行的关键在于管道设计的安全性与可靠性，毕竟流程环环相扣，某一环节因管道问题中断可能拖累整条生产线陷入瘫痪状态，例如布局不合理导致检修时被迫长时间停产，既扰乱计划安排，又由于物料积压和设备闲置带来额外开支，而注重风险评估并将安全因素融入全周期的管道管理中，则有助于压缩故障频次与时长，从而保障生产节奏不被打

乱，同时稳定企业的经济效益。

从环保视角出发，化工生产中的物料多带有毒性、腐蚀性或易燃易爆特性，工艺管道若出现泄漏情况，污染物就可能进入土壤、水体或大气中，周边生态环境势必面临难以修复的损伤，在选材与密封设计等环节中，设计人员通过风险分析将环保要素深入考量其中，如此一来，不但能够降低泄漏发生的几率，同时还能阻止有害物质对生态系统的破坏，为附近居民的生活环境以及区域生态平衡设立起一道保护屏障。

成本控制与管道设计中的风险分析和安全考量紧密相连，前期若对风险分析不够重视，后期管道故障容易引发一系列问题，如事故应对、设备修复、生产停滞以及环境治理等费用叠加后，往往会超出设计阶段在风险防控与安全改善上的投入，而重视风险分析与安全优化则能在降低事故损失方面发挥作用，帮助经济效益与安全效益达成更精巧的协调状态。

2 化工工艺管道设计风险分析

2.1 管道材料选择风险

化工生产涉及诸多介质，像硫酸、盐酸这类腐蚀性强的物质，以及处于高温高压状态的蒸汽、合成气等，这些对管道材料的要求很高，若管道材料在耐腐蚀性、强度或耐高温等方面达不到输送介质的标准，使用一段时间就会状况频出，以输送酸性介质为例，普通碳钢遇酸会发生电化学反应，因为它化学性质较活络，管壁会逐渐被侵蚀，短则数月，长则数年，就可能被腐蚀出孔洞，介质泄漏后，环境遭殃、安全事故的风险也随之而来。市场中管道材料的质量参差不齐，一些供应商提供的材料可能存在缺陷，例如内部裂纹或夹杂物等潜在问题，使用这类不达标的材料制造管道时，承载能力和可靠性都会打折扣，使得运行过程中故障发生的可能性进一步增大，隐患无形却真实存在。

2.2 压力设计风险

化工工艺管道运行过程中需应对各类压力，精确计算设计压力成为安全运行的核心环节，毕竟设计阶段一旦对工艺参数掌控不稳，或选取了不当的压力计算方法，便可能导致设计压力偏低，在实际工况下管道承受压力一旦超出极限值就极易引发破裂事故，进而造成严重后果需要高度警惕，这种潜在风险与计算精度紧密相关同时涉及多方面操作细节的协调，实际工作环境复杂多变稍有疏忽都将直接影响系统稳定性，因而如何合理确定和评估压力数据依然是行业中的重要探讨话题。

化工生产流程复杂多变，设备的频繁启停与阀门的持续开闭使管道压力出现显著波动，这类波动充满不确定性和隐性风险，在设计管道时如果忽略这些因

素，未能合理配备安全阀或减压阀等核心组件，一旦超出管道承压能力，后果便难以预料，轻则导致管道变形、破裂，重则打乱生产的稳定性，更可能带来物料泄露等严重问题，继而埋下火灾、爆炸的巨大隐患，直接对人员和资产安全构成极大威胁，这样的连锁反应要求我们在初期设计阶段必须关注压力波动的风险点和控制方法。

2.3 布局规划风险

管道走向要是没规划妥当，安装、维护和检修就会麻烦不断，甚至可能拖累管道的使用寿命，尤其是那种弯弯绕绕或者交叉重叠的设计，流体经过时阻力蹭蹭上涨，能量损耗毫无意义，而弯曲部位往往成了应力集中点，让管道老化加速，故障频频找上门来。

化工工艺管道布局犹如一张错综复杂的网，与反应釜、换热器等设备紧密关联，且常挨着建筑物布设，设计过程中若脱离规范或忽略实际工况，管道与周边设施距离设定不合理精准，隐患就会暗暗滋长，管道因腐蚀或者外力冲击发生物料泄漏时，那些具备腐蚀性或者毒性的介质可能直接侵蚀临近设备，致使设备功能失常，搅乱生产节奏。明火或者高温环境引发火灾时，火势会如脱缰的野兽快速蔓延到周边建筑，这不仅会造成建筑物结构受损，还可能引致人员伤亡以及巨额财产损失，对整个化工生产区域的安全稳定构成严重威胁。

2.4 应力分析风险

化工工艺管道在长期运行中，内部介质温度频繁波动会引发明显的热胀冷缩现象，这种反复的尺寸变化会让管道承受显著的应力，从而威胁其稳定性，设计阶段如果忽视热应力的影响，补偿器布置不合理，未能充分吸收位移，或者固定支架安装缺乏科学性而难以有效约束管道移动，热应力就可能逐步累积，随着时间推移，这种持续作用力会导致管道发生变形，起初只是轻微弯曲，后续可能出现严重扭曲甚至开裂，最终导致介质泄漏，进而使化工生产陷入严重的安全隐患之中。管道安装过程中拉伸、压缩或者弯曲都会带来机械应力，运行时管内流体流动又让管壁额外承受机械负荷，当这些应力超越材料极限，管道损坏就成了必然结果，实际工程中这的确是必须留意的关键点，因为它既关乎使用寿命也涉及安全问题，所以把应力约束在合理区间便成为保障系统稳定的重点，在复杂工况下更要小心评估，以免因应力太高或集中分布而引发不良后果。

3 化工工艺管道设计安全对策

3.1 合理选择管道材料

化工生产流程中管道输送的介质复杂多变，腐蚀

性、毒性以及温压特性全都对管道材质选择起到限制作用，像是易腐蚀介质传输时不锈钢凭借合金成分能在表面生成防护膜阻止侵蚀，因而成为候选材料之一；合金钢通过特有的元素组合强化了抗腐蚀性能；塑料类别中的聚乙烯或聚四氟乙烯化学稳定性突出，也很适用于传递具腐蚀性的物质；在高温高压环境下耐热合金以卓越的强度取胜，即便面对高热和强压也能维持良好的力学表现，不容易发生形变或破裂，自然而然地成了首选，为化工生产过程的安全稳定运行构筑起防线。

采购管道材料时筛选供应商得格外留心，优先考虑业内口碑不错、形象够硬的企业，毕竟这类企业多半配套了健全的产线与质控框架，合作起来让人感到可靠，材料交付后则必须依照业内规矩来验收核查，化学成分依靠专业设备深究一番，力学特性透过模拟试验摸个底，外观用肉眼辅以精密器材细查到底，保证所有参数无一例外和设计要求对得上号，再者每批材料需打上专属编号视作“标签”，串起诸如生产运输存储等各环节的关键数据，如此一来遇到情况便能迅速锁定问题源头并给出应对策略。

3.2 准确进行压力设计

设计人员必须深入钻研化工生产工艺，全面掌握管道在各类工况下的压力波动情况，选用科学合理的设计方式时需综合考量温度变化、流量波动以及介质特性等因素对压力的潜在影响，以此保障设计压力契合管道在极端条件下的运行需求，同时应建立严谨的审核机制，邀请资深专业人员严格审查计算结果，从公式应用到数据代入再至结果校验，每个步骤均需细致把关，从而最大限度减少因疏忽或理解偏误导致的计算差错，保证管道设计压力精准且稳固。

管道运行过程中压力波动难以避免，系统中需要合理配置安全阀、减压阀以及爆破片之类的防护组件，安全阀可对管内超压作出反应并自行开启泄压，从而保证管道系统不受损害，减压阀起到将高压介质调控至合适范围的作用，为下游设备平稳运作创造条件，而当管道内压力猛然激增且超出安全阀响应速度时，爆破片迅速破裂进行释压，防止管道出现爆裂事故。

3.3 优化布局规划

规划管道布局需从多方面细细推敲，优先确保走向简洁顺畅，减少弯绕与交叉点，流体运输阻力小则能耗自然可控，生产流程中的每个细节须结合工艺深入考量，让管道布置契合日常操作和后期维护的需求，支撑固定方式也需得到重视，根据材质、管径及输送物等条件来确认思路，从而规避运行时的晃动或位移风险，毕竟只有稳定的系统才无惧安全隐患悄然滋生。

按照相关标准要求，化工工艺管道同设备、建筑物之类的安全间距需要科学安排，设计过程中得考虑到管道可能发生的事故种类与波及范围，确保事故发生时不会对周围设施和人员造成严重威胁，好比输送易燃易爆介质的管道就必须同明火源、高温设备等保持恰当的安全间隔。

3.4 强化应力分析

化工工艺管道运行过程中，热胀冷缩现象频繁发生且影响显著，设计时补偿器的合理布置成为重中之重，波形补偿器利用独特的波纹形态，在温度变化引发管道热膨胀量时悄然吸收变形量，以此有效削弱热应力对管道带来的破坏，而套筒补偿器借助内外套筒相对位移来应对管路伸缩，在实用场景中也表现出优良的补偿性能，固定支架与导向支架的科学排布更是关键所在，固定支架可限制管道部分节点的移动范围，导向支架负责管控管路走向，它们彼此协同配合，令补偿器在应对热胀冷缩情况时仍能正常运转，从而确保整个管道系统的安全稳定运行不受干扰。

管道安装须依据设计要求进行，避免其遭受过度拉扯、挤压或弯折等机械损伤即可，在管道运行后需不定期地开展检查与维护工作，及时察觉因机械应力引发的变形或者裂纹等问题并迅速处理，此外优化管道结构设计也不失为一种途径，可增强管道对机械应力的承受能力。

4 结束语

化工工艺管道设计的安全性与化工生产平稳运行息息相关，剖析设计中的风险元素并采取匹配的安全手段尤为重要，诸如选材得宜、压力核算精准、布局优化及应力评估强化等办法均可助力管道安全性的提高，进而降低事故发生几率，为化工行业的长效发展提供保障，在未来的化工工艺管道设计进程中，设计人员要持续精进专业能力，恪守标准规定，全方位权衡各类风险因素，确保设计品质与安全可靠度达标。

参考文献：

- [1] 黄辉.化工工艺设计中的安全风险与控制探讨[J].中国石油和化工标准与质量,2024,44(08):1-3.
- [2] 李政.化工工艺管道设计风险分析与安全对策研究[J].山东化工,2024,53(02):194-195+200.
- [3] 王怡.化工工艺设计中的安全风险与控制措施分析[J].天津化工,2023,37(01):144-146.
- [4] 房建明.化工工艺设计中安全风险分析及控制策略[J].清洗世界,2022,38(12):172-174.
- [5] 丁全有.化工工艺设计中的安全风险及控制[J].化工设计通讯,2022,48(01):143-144+201.