

# 化工管道材料选择对工程安全性的影响与优化策略

秦向辉

中国五环工程有限公司 湖北武汉 430223

DOI: 10.12238/ems.v7i4.12627

**[摘要]** 化工管道材料的选择是保障工程安全的核心要素。不同材料特性从耐腐蚀性、力学性能、热性能等方面深刻影响工程安全,而当前选材中存在对材料性能认识不足、受成本误导及忽视特殊工况等问题,威胁工程安全。本文提出全面评估材料与工况适配性、平衡成本与安全并构建合理标准、关注新材料发展等优化策略,旨在提升化工工程安全性,为行业选材提供科学指引。

**[关键词]** 化工管道; 材料选择; 工程安全性; 优化策略

## 引言

在化工工程领域,化工管道犹如人体的血管,承担着输送各类危险、腐蚀性介质的重任,是确保生产流程顺畅运行的关键基础设施。管道材料的选择绝非小事,它直接关系到工程的安全性、稳定性以及长期运营成本。一旦材料选择不当,可能引发泄漏、爆炸等严重安全事故,不仅造成巨大的经济损失,还会对环境和人员生命安全构成严重威胁。

## 一、化工管道材料特性对工程安全性的影响

### 1.1 耐腐蚀性对工程安全的作用

化工生产涉及众多具有腐蚀性的介质,如硫酸、盐酸、氢氧化钠等。管道材料的耐腐蚀性直接决定了其在这些介质侵蚀下的使用寿命。若材料耐腐蚀性不足,管道内壁会逐渐被腐蚀变薄,进而出现穿孔、泄漏等问题。例如,在氯碱工业中,输送氯气的管道若采用普通碳钢材料,氯气中的水分会与碳钢发生化学反应,导致管道快速腐蚀,氯气泄漏,不仅污染环境,还可能引发中毒事故。而选用耐氯腐蚀的特种合金钢,就能有效抵御氯气的侵蚀,大大降低泄漏风险,保障工程安全稳定运行。

### 1.2 力学性能对工程安全的意义

材料的力学性能,包括强度、韧性等,是管道能够承受内部压力和外部载荷的关键。足够的强度使管道能够承受介质输送过程中的高压,防止因压力过高导致管道破裂。例如,在石油化工行业,输送高压油气的管道需要具备高强度的材料,以确保在高压环境下的结构完整性。同时,良好的韧性使管道在遭受外力冲击,如地震、机械碰撞等情况时,能够吸收能量,避免脆性断裂。像一些在寒冷地区铺设的化工管道,材料需具备良好的低温韧性,以防止因低温导致材料变脆,在受到外力时发生破裂,从而保障工程安全。

### 1.3 热性能对工程安全的影响

化工生产过程中,温度变化频繁且幅度较大,这就要求管道材料具备合适的热性能。材料的热膨胀系数决定了其在温度变化时的伸缩程度。如果热膨胀系数过大,在温度升高时,管道可能因膨胀而产生较大的热应力,导致管道变形、连接部位松动,甚至引发泄漏。例如,在高温蒸汽输送管道中,若材料热膨胀系数与管道设计不匹配,高温运行时管道可能因膨胀受阻而产生过大应力,威胁管道安全。

## 二、当前化工管道材料选择存在的问题对工程安全的威胁

### 2.1 对材料性能认识不足导致的安全隐患

化工行业涉及多种复杂的工艺流程和介质,每种材料都有其特定的性能和适用范围。然而,部分工程人员对材料性能的了解不够深入全面,在选材时仅凭经验或简单参考资料,没有充分考虑材料与实际工况的适配性。例如,对于一些新型化工产品的生产,其使用的特殊介质可能对管道材料有特殊要求,但由于对这些介质腐蚀特性认识不足,仍选用传统

材料,导致管道在短时间内出现严重腐蚀,引发安全事故。这种对材料性能认识的不足,使得管道在运行过程中处于潜在的危险状态,严重威胁工程安全。

### 2.2 成本因素引发的材料选择误区与安全风险

在化工项目建设中,成本控制是一个重要因素。但一些企业为了降低初期投资成本,过度追求低价材料,而忽视了材料的质量和性能对工程安全的重要性。低价材料往往在质量和性能上存在缺陷,如耐腐蚀性差、强度不足等。例如,某些小型化工企业在管道选材时,为节省成本选择了不符合标准的劣质钢材,这些钢材在投入使用后,由于无法承受正常的工作压力和腐蚀,频繁出现管道破裂、泄漏等问题,不仅影响生产,还可能导致火灾、爆炸等严重安全事故,给企业和社会带来巨大损失。这种因成本因素引发的材料选择误区,将工程安全置于高风险之中。

### 2.3 忽视特殊工况需求对工程安全的挑战

化工生产存在许多特殊工况,如高温、高压、强腐蚀、高磨损等。这些特殊工况对管道材料提出了更高的要求。然而,在实际选材过程中,部分企业忽视了这些特殊工况的影响,仍采用常规工况下的材料选择标准。例如,在一些深海石油开采项目中,管道不仅要承受高压,还要应对海水的强腐蚀和低温环境。若忽视这些特殊工况,选用普通材料,管道很容易在恶劣环境下损坏,导致石油泄漏,对海洋生态环境造成严重破坏。忽视特殊工况需求,使得管道在面对极端条件时缺乏足够的防护能力,给工程安全带来巨大挑战。

## 三、基于工程安全性的化工管道材料选择优化策略

### 3.1 全面评估材料性能与工况适配性

在选择化工管道材料时,必须对材料的各项性能进行全面评估,并充分考虑实际工况的特点。首先,要详细分析化工生产过程中涉及的介质成分、浓度、温度、压力等因素,明确其对材料耐腐蚀性、力学性能和热性能的具体要求。例如,对于含有多种腐蚀性介质的复杂工况,需选择具有综合耐蚀性能的材料,并通过实验室模拟试验等手段,验证材料在实际工况下的性能表现。还要考虑管道的安装环境、运行条件以及未来可能的工艺变化,确保所选材料在整个工程生命周期内都能与工况良好适配,从根本上保障工程安全。

### 3.2 平衡成本与安全,构建合理选材标准

成本与安全是化工管道材料选择中需要平衡的两个关键因素。企业应摒弃单纯追求低成本的选材观念,而是要构建一套综合考虑成本与安全的合理选材标准。一方面,要对不同材料的价格、维护成本等进行详细的经济分析,计算出长期的成本效益比。例如,虽然一些高性能材料的初始采购成本较高,但因其具有良好的耐腐蚀性和较长的使用寿命,可大大减少后期的维修和更换成本,从长期来看更具经济性。另一方面,要确保所选材料在满足安全要求的前提下,尽量

优化成本。通过建立科学的选材标准,在保障工程安全的同时,实现成本的合理控制,提高企业的经济效益。

### 3.3 关注新材料发展,引入先进适用材料

材料科学领域的不断发展为化工管道选材提供了更多的可能性。企业和工程人员应密切关注新材料的研发和应用进展,及时引入先进适用的材料,提升工程安全性。例如,近年来纳米复合材料、新型陶瓷材料等在化工领域展现出优异的性能。纳米复合材料通过传统材料中添加纳米颗粒,可显著提高材料的强度、耐腐蚀性和耐磨性;新型陶瓷材料具有耐高温、耐磨损、化学稳定性好等特点,适用于一些特殊工况。通过积极关注新材料发展,评估其在化工管道中的适用性,并进行合理应用,能够有效解决传统材料在某些工况下的局限性,为化工工程的安全运行提供更有力的保障。

## 四、化工管道材料标准规范对工程安全性的影响及优化

### 4.1 现有标准规范的局限性与安全隐患

化工管道材料标准规范是保障工程安全的重要依据,但现行标准存在一定局限性。部分标准更新滞后,难以跟上化工行业的快速发展。随着化工行业不断创新,新的化学反应路径和工艺不断涌现,由此产生的化工产品和中间产物的腐蚀性、压力特性等与传统介质大不相同。例如,在新兴的精细化工领域,一些产品合成过程中会产生强氧化性且带有特殊离子的腐蚀性介质,而现有的管道材料标准规范中,针对此类特殊介质的材料规定仍停留在较为宽泛的范畴,缺乏精确的技术指标和针对性的选材指导。这就导致在实际工程中,工程人员可能因缺乏明确标准指导,凭借过往经验或简单参考相似工况,选用了不恰当的管道材料,为管道在长期运行过程中的泄漏、腐蚀穿孔等安全事故埋下隐患。

而且,不同地区、不同行业的标准规范存在差异,缺乏统一协调性。化工行业与石油行业在管道材料压力等级标准上有所不同,化工行业部分标准侧重于工艺过程中的压力波动特性,而石油行业则更多考虑长距离输送过程中的压力损耗与稳定性。这种差异在跨行业的联合项目中,如化工与石油炼化的一体化项目,易引发材料选用混乱。工程团队可能在不同标准间难以抉择,或者在衔接过程中出现失误,导致管道系统在压力适配方面出现问题,增加管道泄漏、破裂风险,严重威胁工程安全。

### 4.2 优化标准规范的策略与建议

为提升工程安全性,需对化工管道材料标准规范进行优化。一方面,建立标准规范动态更新机制。成立专业的标准修订小组,成员涵盖化工工艺专家、材料学专家、工程建设者等。化工工艺专家负责提供最新的工艺信息,包括新的化学反应过程、产生的介质特性变化等;材料学专家依据工艺需求,研究适配的新材料或对现有材料的性能优化方向;工程建设者则从实际施工和运行维护角度,反馈标准在实际应用中的问题与需求。实时跟踪化工行业新工艺、新材料的发展,及时将新的安全要求纳入标准规范。例如,当新型绿色化工工艺中出现具有特殊腐蚀性的中间产物时,小组成员迅速协同工作,通过实验室模拟、现场试验等方式,研究适配材料,并从材料成分、物理性能、耐腐蚀指标等多方面更新标准,确保标准的时效性与科学性。

另一方面,加强不同地区、行业标准的统一协调。由国家相关部门牵头,组织各行业专家共同研讨,制定通用性的基础标准,如材料基本性能指标、安全系数取值范围等。在材料基本性能指标方面,明确不同类型管道材料在强度、

韧性、耐腐蚀性等关键性能上的最低要求;对于安全系数取值范围,综合考虑不同行业的风险承受能力与工程实际需求,给出科学合理的区间。对于特殊行业需求,在遵循基础标准的前提下,制定补充细则。例如,航空航天领域的化工管道可能对材料的轻量化和耐高温性能有特殊要求,在基础标准之上,制定专门的针对该领域的材料补充标准,确保标准规范既满足通用性,又能兼顾特殊行业的独特需求,为工程安全筑牢标准基石。

## 五、化工管道材料监测与维护对工程安全性的保障

### 5.1 材料监测技术与方法对安全预警的作用

无损检测技术如超声波检测,能通过发射超声波并接收反射波,精准检测管道内部缺陷,如裂纹、孔洞等。超声波在不同介质中的传播速度和反射特性不同,当遇到管道内部的缺陷时,反射波的强度、时间等参数会发生变化,专业检测设备通过分析这些参数,能精确判断缺陷的位置、大小和形状,及时发现材料损伤隐患,避免因缺陷扩大导致管道破裂。腐蚀监测技术,如采用电化学腐蚀监测仪,可实时监测管道材料在腐蚀介质中的腐蚀速率。其原理是利用电化学原理,通过测量管道材料在腐蚀介质中的电位、电流等参数,计算出腐蚀速率。当腐蚀速率超出安全范围时,立即发出预警,为维修更换争取时间。

此外,基于物联网的智能监测系统,通过在管道关键部位安装传感器,可实时采集材料的应力、应变、温度等数据。这些传感器将数据通过无线传输技术发送至数据处理中心,利用大数据分析技术,对海量数据进行深度挖掘与分析。

### 5.2 维护策略与措施对延长材料寿命及保障安全的意义

合理的维护策略是延长化工管道材料寿命、保障工程安全的关键。日常维护中,定期对管道进行清洁保养,去除表面污垢、沉积物,防止因杂质附着引发局部腐蚀。例如,对于输送含颗粒介质的管道,定期进行清管作业,采用专用的清管器,通过管道内介质的压力推动清管器在管道内移动,清除管道内壁上附着的颗粒、污垢等杂质,避免颗粒长期冲刷磨损管道内壁,降低管道的使用寿命。在定期维护方面,根据材料特性和运行工况,制定详细的维护计划。如对高温高压管道,每年进行全面的无损检测与性能评估,采用射线检测、金相分析等多种检测手段,对管道材料的微观结构、力学性能等进行全面检测,及时发现因高温高压导致的材料性能劣化,如晶粒长大、材料蠕变等问题,及时更换老化、受损材料。

## 六、结论

化工管道材料的选择是保障工程安全的基石,其特性对工程安全有着多方面的深远影响。当前选材过程中存在的诸多问题,给化工工程带来了不容忽视的安全威胁。通过全面评估材料性能与工况适配性、平衡成本与安全并构建合理选材标准,以及关注新材料发展并引入先进适用材料等优化策略,能够有效提升化工管道材料选择的科学性和合理性,进而显著增强化工工程的安全性。

### [参考文献]

- [1] 卞学吉. 化工工程中设备及管道布置技术研究[J]. 石化技术, 2024, 31(04): 147-148+71.
- [2] 魏其凡, 张丽丽. 化工设计过程中管道材料的选择及应用[J]. 化工设计通讯, 2021, 47(07): 53-54.
- [3] 丁建梅. 化工装置设计中管材的选择要点与应用[J]. 化工设计通讯, 2020, 46(02): 60-61.