

化工管道设计及材料等级选用分析

张彬钰 谢旭升 任泽民 (兰州寰球工程有限公司, 甘肃 兰州 730060)

摘要: 化工管道在化工生产中具有重要作用, 多用于原料和产品的运输、流体流量和压力的控制、热交换、反应物的混合和分离, 以及消防系统的建设等。因此, 必须保证化工管道设计及材料选用的合理性。在某石化单位在管道设计中, 设计系数F值定为0.6, 测定此管道强度的结果: 管道环向应力测值为145MPa、123MPa, 均小于216MPa的允许值, 符合要求; 热膨胀力测定结果为-198MPa、-201MPa, 未超过324MPa, 通过检测发现: 全面的管道设计、合理的管材方案, 能够保证管道强度, 符合化工生产的技术要求。

关键词: 化工管道; 管道材料等级; 压力管道; 应力

管道选材不当, 会严重影响化工生产运行安全, 增大安全事故的发生次数。因此, 在化工项目建设中, 开展管道设计、管道选材各项工作时, 设计人员需要秉承选用理念, 参照选用思想, 考虑材料级别的适用性, 极大程度地增强选材适用性。通过结合实际项目, 给出管道、管材的设计方案, 配合强度测试方法, 验证技术方案的适用性, 以提高研究参考价值。

1 化工管道设计

1.1 设计理念

国内管材在设计、生产、焊接各个生产环节的参考规范, 与ASTM管材具有一定差异性。国内管材生产加工依据的规范内容为GB50316。在规范差异性的条件下, 管材质量检查方法同样存在差别。化工企业在管道选材时, 以输送介质为目标, 以期增强管材方案的适用性。比如, 输送介质表现出较强的易燃性, 管道选材方案为“沸腾钢”。如果输送介质表现出较高的危害性, 使用优质钢, 降低危害。如果输送介质表现出腐蚀性特征, 应选择不易腐蚀的管材^[1]。

1.2 管道应力设计分析

1.2.1 动力分析

化学管道在运输流体介质时, 对于各类流体的运输任务, 应参照流体特征的差别, 合理开展管道设计, 以此能够减少管道共振问题, 间接增大预应力。复式压缩机使用后, 会干扰着化学管道的运行。在生产期间, 应从复式压缩机视角, 开展管道预应力分析, 保证测试结果精确, 切实增强管道适用性。多数情况下, 复式压缩机会出现气柱频率、压力动脉等情况, 引起整体振动频率出现变动, 形成共振现象, 致使管道出现严重损伤。

1.2.2 静力分析

结合管道用况要求, 将预应力作为重要的检测项

目。化工生产期间, 利用管道完成介质运输。管道的强度、运输能力, 直接决定着化工运输的整体效果。在管道运维中, 需要有效控制管道承受压力, 防止维修期间形成较大的安全问题。在保证压力平稳的情况下, 开展管道内部清洁、防腐处理、增设保温层等工作。确保管道性能完好, 方可继续投入化工运输。

1.2.3 应力计算方法

管道可能会受到各类因素的干扰, 致使管道自身温度发生改变, 形成管道应力。在管道设计期间, 应准确开展应力计算, 顺应管道壁厚的安全设计理念, 积极防控强度失效风险。

第一, 环向应力计算。针对各类管道, 在管内形成的环向压力, 均可依照ASME B31.4的规范内容, 开展环向应力计算。具体算法见式1:

$$S_H = \frac{PD}{2t} \quad (1)$$

式1)中, S_H 表示管内形成的环向应力(单位: MPa); P 表示应力计算使用的实验水(单位: Pa); D 表示运输管道的内径大小(单位: mm); t 表示管道设计的壁厚, (单位: mm);

第二, 热膨胀应力计算。参照ASME B31.4, 给出管道热膨胀应力的算法, 见式2:

$$S_E = Ex(T_1 - T_2) \quad (2)$$

式2)中, S_E 表示在温度浮动条件下, 管内形成的轴向应力, (单位: MPa)。如果 S_E 为负值, 代表“压应力”。如果 S_E 是正数, 则为“拉应力”。 E 表示管道的弹性模量(单位: MPa)。依照ASME B31.4规范完成取值, 即 $E=2.03 \times 10^5$ 。 x 表示管道运输期间的膨胀能力(单位: mm/°C)。按照规范取值, 即 $x=11.7 \times 10^{-6}$ 。 T_1 表示装设管线的环境温度(单位: °C)。 T_2 表示管道运输期间的温度最大值。

1.2.4 降低应力的设计方案

首先,设立管道支架,使用管道支架,能够有效分担管道应力。在增设支架时,需要合理控制承重力。利用支架支撑作用,以此有效分散化工管道承载力。在设计管道时,要客观判断管道预应力的承受情况,使其更具安全性。在增强管道承压性时,会间接增大管道密度,使其拥有较好的抗腐蚀性能。

其次,提高管网柔韧性,采取柔韧性设计,能够增强管道的整体抗压能力。在柔性设计时,需要加强管道选材分析,管道表面不应存在裂痕、缝面。柔性较好的管材,在承受较大应力作用时,会出现管材裂痕,间接提高了管道应力值,威胁管道系统运行。为此,在选材期间,应排查管材裂痕问题。柔性较好的管道,能够简化布线方案,支持悬空布线,有效控制一次应力问题,能够显著降低管道应力,减少管道支出。

第三,管道发生冷紧现象,多数是管道具有一定弹性。在预应力作用下,管道形状、性能会发生些微改变,由此产生管道形变,保护管道结构。在管道使用时可能会在流体热力学作用下,出现热胀冷缩情况,致使部分位置出现弯曲、形变等问题,间接提高了管道扭曲量,无法保证管道使用效果。如果管道出现较大扭曲会引发流体运输泄漏问题。冷紧措施主要借助化学部件表面产生的热应力,让化学部分位置形成热膨胀应力。在化学管件热态条件下,有效密集局部的作用力,以达到应力控制的目标,冷紧措施可减少管道弯曲形成的泄漏问题。

2 化工管道选材分析

2.1 关注管材性质

在化工设计期间,在管道选材时需要考虑材料特点。参照此种管材适用范围、材料特性等各类因素,保证管道选材方案的合理性。多数化工项目,使用的原材料需要开展安全管理。此时,工作人员不应使用铁质材料,应侧重选择钢制材料,减少管道受到的腐蚀作用。

2.2 以管道设计流程为前提

在管道选材时,工作人员应参照设计要求,逐一完成各类管道设计工作,确保管材特征与设计要求相符,以此增强化工生产运输安全。换言之,管材设计流程作为前提,是保证选材质量的首要条件。确定管材类型后,工作人员参照设计方案,合理规划其他工作。

2.3 明确介质温度作为管道选型的关键因素

在实际生产加工期间,化工原材料可能会有各类

反应,释放出较多的热量。基于此种生产现象,在前期管材选择时,应特别关注介质温度。此外,工作人员应掌握化学介质的特点,妥善规划材料运输,减少风险。

2.4 以管道厚度为选材重点

在化工项目中,管道作为不同介质的运输工具,应具有抗腐蚀、耐高温等特点。如果管道厚度较小,运输介质具有腐蚀性时,可能会出现管道破损、原材料泄漏等生产问题。为此,工作人员需要合理设计管道厚度,保证各项运输任务进展的顺利性。

2.5 管道选材流程

①管道选材需要符合国家法律的要求,确保管材与设计要求相符;②管材特性、各项关键参数,是管道选材的重要因素;③采取管材检测方式,全面分析管材成分,预测其抗腐蚀能力,判断管道成分的有毒性。从易燃、易爆各个方面,逐一开展管材检测;④参照测定结果,综合确定管材选择方案。

2.6 压力管道等级选用分析

使用特定压力,完成气体、液体运输任务的管线,称为“压力管道”。在运输中,管道运输压力的最小值为0.1MPa(G),流体类型主要是“气体”、“液体”。压力管道的公称直径至少为50mm。压力管道是一种以安全生产为主体的承压型设备,其管道级别,见表1。

表1 压力管道等级

压力管道许可类型	GA类	GB类	GC类	GD类
管道适用范围	长输管道	公用管道	工业管道	动力管道

表1中的GA类、GC类多用于化工管道设计。结合实际生产任务,开展压力管道的选材分析,具体如下。当环境温度最大值为25℃,运输压力最大值为0.2MPa,此管道运输介质为“柴油”。依照当前使用的法律规范、行业标准,在运输可燃液体时,应选择压力管道,管材类别选定为“GC类”的“GC2级”,是用于“中度危险化学品”运输的压力管道^[2]。

运输温度不超过10℃、运输压力最大为0.3MPa,运输介质为“无水氢氟酸”。如果运输介质具有急性毒性特点,应划分为“GC类”的“GC1级”。如果运输介质中的氢氟酸浓度调整为40%,其中含毒成分占比不低于25%,运输液体的类型为“急性毒性”,选择的压力管道为“GC1级”。如果氢氟酸含量降至1%,有毒成分占比不足3%,依照TSC D0001-2009的要求,运输的压力管道级别应选择“GC2级”。如

果依照最新 GB20801.1-2020 的运输规范,应继续选择“GC1 级”。为此,按照最新规范内容,当运输介质氢氟酸含量至少为 1%、且存在含毒成分时,应选择“GC1 级”压力管道。

2.7 各类工况的管材方法

2.7.1 一般物料运输

①化工生产期间,需要运输有机酸、溶剂等各类生产材料时,管道选材方案为:不锈钢 304L;②如果运输材料为速算,应选择不锈钢 316;③如果原材料具有腐蚀性,管道材料选择“碳钢”。

2.7.2 公用工程管道

①在化工生产体系各类公用工程管道,比如空气、氮气等,可选择“碳钢”管材;②如果公用管道有洁净要求,运输介质为“脱盐水”,可选择“不锈钢 304”的管材。运输介质为“仪表风”时,可选择“不锈钢 304”、“碳钢热镀锌”;③埋地管道需要增设防腐涂层。如果管道口径参数较大,需要核实管道刚度,校准管道跨距。必要时,增设鞍形支座。

2.7.3 基建管道

①消防区域内的管道选材为“碳钢热镀锌”,使用不足 DN50 规格的螺纹、不低于 DN65 规格的沟槽,完成管道连接;②消防埋地使用的管道材料为“碳钢”,应完成防腐涂层处理;③给水埋地敷设的管道材料为“HDPE”、“PE 钢丝网”、“碳钢衬塑”等。可采取热熔、电熔的方式,保证管道连接质量;④给水室内的管材类型为“PP-R”;⑤排水埋地的选材方案为“PE 管”、“玻璃钢管”;⑥筑内排水管道材料选择“PVC-U”;⑦压力排水管道选材方案为“碳钢”、“HDPE 管道”等。

2.7.4 高、低温管道

在不同化工生产工况中,各类管道设计标准的允许应力要求中,明确给出了温度控制方法。①高温条件下,需要控制材料蠕变量,可选择低合金钢、不锈钢等材料;②低温条件下,需要开展“低温冲击检测”,综合判断管道性能的适用性。

3 某石化单位的选材分析

3.1 管道设计方案

某原油处理工程共设有两条长输管线,管内运输介质以“含水原油”为主。管道运输时的压力设计值为 3MPa,管道运输环境温度设为 110℃。管道具体设计方案中管道指标与设计参数如下:设计压力 3.0MPa;设计温度 110℃;管道埋深 1.18m;安装温度最小值 25℃;腐蚀裕量 6mm;内外防腐 FBE/3LPP。

3.2 确定设计系数 F 值

依照 ASME B31.4 的管道设计要求,设计系数应控制在 0.72 以内。当管道敷设点位发生改变时,可适当降低设计系数。在确定 F 值(设计系数)时,需要参考壁厚公差、缺陷深度最大值各个因素。案例项目的设计系数方案见表 2。

表 2 案例项目设计系数 F 值方案

管道敷设方位	一般线路	轨道、路口	生产区 200m 位置
设计系数 F 值	0.72	0.6	0.6

3.3 管道强度测定分析

案例项目在测定管道强度时,F 值定为 0.6,分析结果见表 3。经强度测定发现:①管道环向应力测值为 123MPa、145MPa,均小于 216MPa,通过检测;②热膨胀力测值为 -201MPa、-198MPa,均小于 324MPa,符合应力要求;③案例项目给出的管道设计方案,其环向应力、热膨胀力均处于允许值以内,符合管道强度校准核实的技术规范;④结合管道应力测试结果可知:案例项目给出的设计系数 F=0.6,参数设计准确,管道应力表现较好。

表 3 案例项目管道强度测定结果

钢材等级	API 5L-PSL2-X52QS, NACE	
管道外径	505mm	271mm
公称壁厚	11.02mm	8.85mm
设计系数 F	0.6	0.6
管道环向应力 S_H	145MPa (通过)	123MPa (通过)
允许环向应力 S_H	216MPa	216MPa
管道热膨胀力 S_E	-198MPa (通过)	-201MPa (通过)
允许热膨胀力 S_E	324MPa	324MPa

4 结论

化工管道设计时,需要考虑运输介质特点,开展应力分析,确保管材选用正确,减少管道损坏。配合有效的应力分担设计方案,合理控制化工管道承受的应力。在化工管道选材分析时,应关注管材性质,给出完整的管道设计方案,精准设计管道壁厚。在确定压力管道等级时,应参照运输介质特点、现行标准内容,确保管道等级设计的规范性,保证管道的使用安全。

参考文献:

- [1] 徐龙武. 化工工程的设备、管道布置与管道材料优化设计 [J]. 辽宁化工, 2024,53(01):78-81.
- [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.