

环向裂缝缺陷管道带压密封的安全注剂压力影响因素分析

王建辉
(天津天石带压密封有限公司 天津 300450)

摘要: 由于多种因素的影响, 输油管道系统会出现不同程度的损害, 增加了安全隐患。提高石油企业针对输油管道系统的抢险维修能力, 对提高石油的开采效率具有非常重要的意义。本文通过实验和 ANSYS 仿真模拟对不同带压密封安全注剂压力影响因素下具有环向裂缝缺陷管道的等效应力变化情况展开研究, 希望通过实验为相关人员提供参考。

关键词: 环向裂缝缺陷; 注剂式带压密封技术; 等效应力

1 安全注剂压力的有限元模拟

本文采用建立有限元模型的方式对具有环向裂缝缺陷的管道在带压注剂密封过程中应力的变化情况进行试验, 先验证数值模拟实验的可行性, 然后利用仿真模拟对不同管道在不同缺陷因素影响下注剂压力的变化情况。

1.1 有限元模型

使用 ANSYS 软件建立带有环向裂缝缺陷的金属管道三维立体模型, 管道模型各项参数如表所示。

在进行安全注剂带压密封作业时, 由于管道主体中存在的裂缝, 将密封助剂灌入卡具的密封空腔中, 利用密封助剂向裂缝位置进行施加作用力。本文拟定模拟实验中, 卡具密封空腔内的密封助剂向管道外壁施加均匀等值荷载, 方向沿管道径向内施加载荷。

失效准则判定。当油气管道局部发生塑性失效后, 即以此确定失效准则, 认为管道在裂缝缺陷位置的等效应力达到屈服极限后失效。等效应力采用 Von Mises 米塞斯条件进行标注, 在确定塑性失效准则后, 将 Von Mises 米塞斯条件确定为以下公式

$$\sigma_{\text{von}} = \sqrt{\frac{1}{2}[(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2]} \leq \sigma_s$$

公式中各项分别表示: σ_{von} ——等效应力, MPa; σ_1 ——轴向应力, σ_2 ——径向应力, σ_3 ——环向应力, 分别为 x、y、z 方向上的主应力, MPa; σ_s ——材料许用应力, MPa。

2 有限元模型的试验验证

2.1 安全注剂压力测试实验

本文选用实验试件为 20 # 优质碳素结构钢, 管道规格为长度 325mm, 壁厚 7mm, 对试件性能参数用实验测试, 测试结果显示该管材的性能参数与模型管道的性能参数一致 (实际屈服强度 350MPa, 抗拉强度 512MPa, 弹性模量 206GPa, 泊松比为 0.3)。

实验材料确定后, 首先, 创造实验条件, 在管道上制造一条长 80mm 的裂缝, 宽度忽略不计, 将粘贴应变片粘在缝隙周边; 其次, 用密封夹具确定开孔位置, 从孔中牵出

测试线, 并与应变数据采集系统进行关联; 再次, 采用注剂式带压密封技术向管道内注入试剂, 注剂操作的同时对外壁在注剂过程中产生的应变值进行测试和记录; 最后, 结合测试数据计算裂缝周边不同位置的等效应力, 并绘制注剂压—应变曲线。该环节试验实物效果图如图 1 所示。

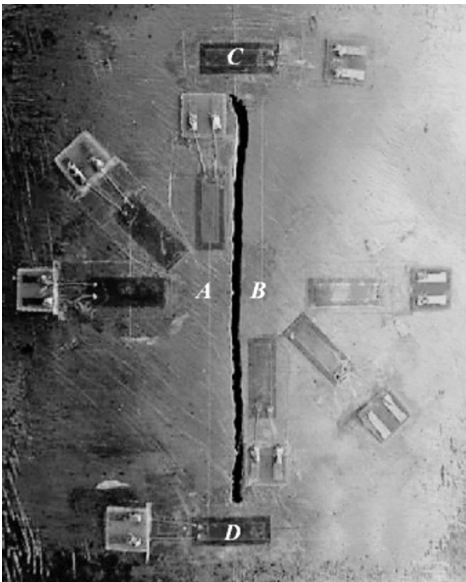


图 1 应变片布置实物图

x、y、z 方向上的应变利用由 3 个电阻应变片共同构成的应变花进行测量, 最终确定图 1 中 A、B 点的主应力和主方向, 计算公式为第四强度理论公式。

$$\sigma_{\text{von}} = \sqrt{\frac{1}{2}[\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + (\sigma_1 - \sigma_2)^2]}$$

利用测量数据计算测点 A 中产生的等效应力。

2.2 模型的试验验证

结合真实工况进行模拟实验, 实验后将测量点 A 产生的等效与力于实验结果进行对比, 用图呈现数据对比结果, 发现模拟结果和实验数据并无明显差异, 证明本文选用研究方法具有良好的可行性。

3 结果分析

构建的有限元模型规格为: 管径 377mm、壁厚 7mm、管道内压 1.6MPa。设置裂缝缺陷 7 个, 长度分别设置为 5、10、15、20、40、60、80 (mm), 通过有限元模型对管道

裂缝缺陷位置在带压密封安全注剂压力影响下的失效状态进行分析发现:当保持其他实验条件相同时,等效应力会随着环向裂缝缺陷长度的增大而减小,向密封管道进行注剂承受的压力也随之下降。出现此种情况是因为裂缝缺陷长度越高,管道内压强越小,管内空间的承压能力越弱,失效压力越低,对应的最大等效应力和注剂操作中需要施加的外力也随之降低。

管径大小对管道等消应力产生的影响。构建管壁厚度为7mm,裂缝长度分别为15mm和20mm,管道内部压力强度为1.6MPa的有限元模型,管径长度分别设为219、273、325、377、426(mm),模拟不同管径长度下裂缝缺陷管道在带压密封助剂过程失效状态下,等效应力的变化规律。

在裂缝长度一致(15mm),管径长度分别为219mm和426mm时,管道中产生的等效应力变化趋势基本一致,具体见图2所示。变化趋势图中显示:当其他试验条件相同的情况下,随着管径长度的增加,管道中产生的最大等效应力会在达到一个低谷后上升。出现这种现象主要是因为管道曲率会随着管径的增大而减小,当裂缝缺陷长度一致时,缺陷的轴向应力会随着曲率的减小而增大,而含有裂缝缺陷的管道产生的等效应力不断降低。另外,Folias膨胀系数会随管径的增加而降低,管道失效压力变大,使管道承受的最大等效应力升高。随着管道直径不断加大,管道内等效应力在上述两种因素的作用下,呈现先降低后升高的变化趋势。

4 实验总结

通过ANSYS软件建立带有环向裂缝缺陷金属管道三维立体模型,并以模型为依据对带压密封安全注剂操作过程中不同条件影响下的运行压力变化情况进行研究和记录,发现实验数据和计算结果的差异并不明显,表明本文采用的模拟实验方式具有良好的可行性,实验结果可作为准确数据供相关人员参考。

通过对有限元模型进行不同的模拟操作发现:在其他条件保持一致的情况下,当管道裂缝缺陷长度不断增加,安全注剂压力会呈现先增加后降低的变化趋势;当管道直径不

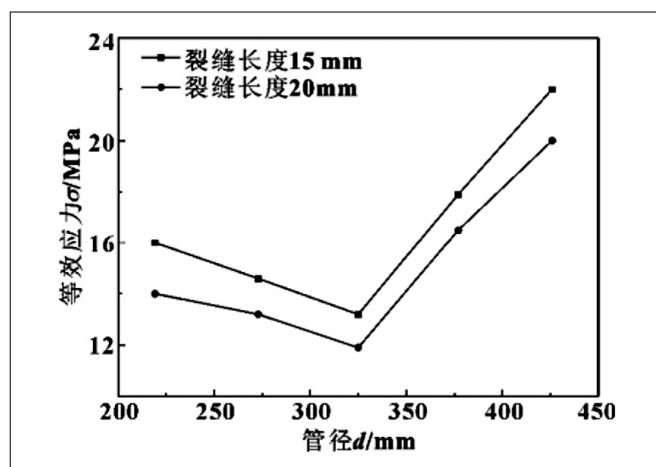


图2 管道等效应力在管径变化影响下的变化趋势

断增大,安全注剂压力会先增加,在达到一定峰值后随之下降。当持续提高管道压力时,安全注剂压力会始终呈现增加的变化趋势。

5 结语

现代社会中,石油资源供应的稳定性会对社会各行业的发展水平都产生不同程度的影响,石油炼化企业装置的正常运行对国家建设具有基础性的支撑作用。但是石油化工装置在经过长时间运行及多种因素的影响下,输油管道中可能出现不同深度的环向裂缝,影响石油资源的正常输送。通过模拟实验的方式,分析不同因素对带压密封助剂压力的影响效果,为石油企业应用助剂式带压密封技术提供应用思路,提高石油化工装置的正常运行,优化石油炼化质量,使石油炼化过程安全性更高。

参考文献:

- [1] 王玉龙,蒋华义,费新玲等.环向裂缝缺陷管道带压密封的安全注剂压力影响因素分析[J].润滑与密封,201944(04):120-125.
- [2] 高晋文,叶严军,于卓琦,段星辉等.含有裂纹缺陷的GIS盆式绝缘子的静力特性及其影响因素分析[J].高压电器,2020,v.56;No.381(12):256-261.

(上接第73页)

绍了储油柜常见的分类及各组部件的技术要求,对变压器运行过程中储油柜常见故障及其原因进行分析研究,从根本上说明储油柜故障的生成机理,对储油柜的故障排查和检修维护具有较强的指导意义。

参考文献:

- [1] 国家电网有限公司十八项电网重大反事故措施[M].北京:2018修订版,66.

- [2] GB/T 6451-2015 油浸式电力变压器技术参数和要求[S].
- [3] 国家电网公司二十一项直流反事故措施及释义[M].北京:2021,18.
- [4] JBT 10692-2007 变压器用油位计[S].
- [5] DLT 1386-2014 电力变压器用吸湿器选用导则[S].
- [6] JBT 9647-2014 气体继电器[S].