

含 H_2S/CO_2 气田中基于腐蚀风险的管道完整性设计

鲜 宁^{1,2} 姜 放^{1,2} 施岱艳^{1,2} 荣 明¹ 吴知谦¹

1. 中国石油集团工程设计有限责任公司西南分公司, 四川 成都 610041

2. 中国石油集团石油管工程重点实验室, 四川 成都 610041

摘要:

管道系统的完整性管理贯穿于全生命周期, 涵盖设计、建设、投产、运行、延寿各个阶段, 设计是整个生命周期中的起点, 因此, 在管网设计中融入完整性概念十分重要。腐蚀是一种与时间有关的危害因素, 将贯穿于管网系统的运行阶段, 对于含 H_2S/CO_2 气田集输管网系统, 腐蚀问题会影响管道完整性。针对 H_2S/CO_2 气田, 介绍工程设计阶段材料选择过程中需要考虑的主要因素、腐蚀风险评估的方法以及腐蚀控制框架的基本要求, 为管网设计期间融入基于腐蚀风险的管道完整性设计理念提供参考。

关键词:

腐蚀风险; 完整性; 设计; H_2S/CO_2 ; 腐蚀控制框架

文献标识码: A

文章编号: 1006-5539(2012)05-0068-03

0 前言

管道系统的完整性管理贯穿于全生命周期, 涵盖设计、建设、投产、运行、延寿各个阶段, 只有各个阶段安全可靠, 方能实现管道系统在结构和功能上无严重缺损, 始终处于安全可靠的受控状态的完整性管理目标。设计是整个生命周期的起点, 因此, 在管网设计中融入完整性概念十分重要。完整性管理的第一步就是识别影响完整性的潜在因素。腐蚀是一种与时间有关的危害因素, 将延伸到管网系统的运行阶段, 对含 H_2S/CO_2 气田集输管网系统, 腐蚀问题是影响管道完整性的主要因素之一^[1-4]。因此, 在管网设计过程中, 对腐蚀风险的评价十分重要。目前, 国外大型工程设计

公司已将腐蚀风险评估作为设计阶段的重要环节, 并融入材料选择与腐蚀控制的管理过程中^[4-8]。在与国外大公司合作的基础上, 拟介绍含 H_2S/CO_2 气田中基于腐蚀风险的管道完整性设计思想, 为今后的管网设计融入完整性理念提供参考。

1 材料选择过程

Patel R 对海上平台的碳氢化合物泄漏原因统计分析显示, 对于管网系统, 73% 的管网失效与管道的腐蚀有关^[9], 由此可见, 腐蚀是影响管网系统完整性的重要因素。在腐蚀性气田开发过程中, 材料选择和腐蚀控制措施特别重要, 其中材料选择过程又与腐蚀密

收稿日期:

2012-02-20

基金项目:

中国石油集团工程设计有限责任公司科研资助项目(KY2011-16)

作者简介:

鲜 宁(1980-), 男, 重庆人, 工程师, 硕士, 从事材料的腐蚀与防护技术研究与设计工作。

切相关。图 1 列出了在工程设计阶段,材料选择过程的流程。

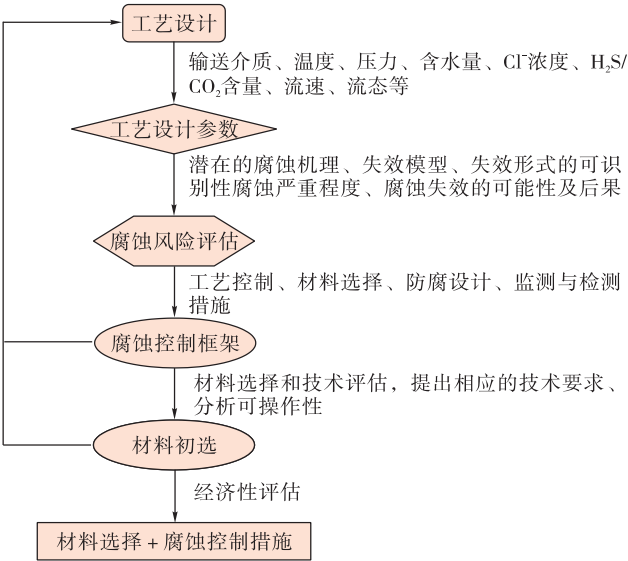


图 1 材料选择流程

对于含 $\text{H}_2\text{S}/\text{CO}_2$ 气田集输管网系统, 腐蚀风险的评估十分重要, 通过腐蚀风险评估, 可进一步识别潜在的腐蚀失效机理及其对应的失效模式, 分析这些失效模式在运行阶段的可识别性(通过腐蚀监测和检测), 制定合适的腐蚀控制框架, 避免或降低腐蚀引起的风险。

2 失效机理与失效模式

含 $\text{H}_2\text{S}/\text{CO}_2$ 气田开发经验表明: 腐蚀问题会降低管道完整性。掌握腐蚀机理及其对应的腐蚀失效模式是开展腐蚀风险评估的基础, 腐蚀风险评估又是制定管道完整性管理措施的重要依据。表 1、2 列出了油气田材料常见的失效机理及失效模式。

结合腐蚀环境特点, 根据腐蚀失效机理和失效模式开展腐蚀风险分析, 在设计阶段考虑合适的防护措施, 并在施工、运行实施过程中不断优化防护措施, 确保管道在整个生命周期内的完整性, 避免管网在运行阶段因腐蚀而导致灾难性的突发事故发生。

表 1 $\text{H}_2\text{S}/\text{CO}_2$ 环境下不同材料潜在的腐蚀失效机理与失效模式

材料	失效模式	腐蚀机理 / 腐蚀部位
碳钢 / 低合金钢	缝隙腐蚀	CO_2 气田, 螺纹连接或者法兰连接的间隙部位, 但不是主要的腐蚀风险
	低温脆断	正常条件下不是主要风险。重点关注存在放空的装置, 放空时可能导致低温; 含液量低的高压井截流位置, 高压井开井的初期放空
耐蚀合金	无	腐蚀环境下无腐蚀或腐蚀低至可忽略的材料
各种材料	环境致开裂	SSCC、CSCC、HIC。酸性环境(H_2S 气田), 存在 H_2S 引起的开裂失效, 可通过合理地选择材料来降低此类风险。高温高氯离子浓度下, 奥氏体不锈钢存在氯化物应力腐蚀开裂风险
	焊接腐蚀	CO_2 气田环境下存在电偶腐蚀。如果操作过程中腐蚀控制措施良好, 这不是一个主要风险。如果腐蚀控制失效, 后期腐蚀管理中发现明显的电化学腐蚀, 应检查焊缝附近区域的腐蚀, 这种情况下焊缝或热影响区的腐蚀可能是母体腐蚀的好几倍

表 2 不同系统中的电化学腐蚀机理与失效模式

系统描述	失效模式	腐蚀机理 / 腐蚀部位
多相流湿气 (气管道)	均匀腐蚀	CO_2 环境, 流动条件, 均匀腐蚀减薄
	局部腐蚀	CO_2 环境, 段塞流或低流动条件下, 点腐蚀
		$\text{H}_2\text{S}/\text{CO}_2$ 环境, 段塞流或流动条件下, 点腐蚀
	冲刷腐蚀(高速流体)	弯头, 三通, 突缩截面下游, 控制阀下游, 容器进出口管嘴, 流体冲刷腐蚀
湿气	冲刷腐蚀(含砂)	弯头, 三通, 突缩截面下游, 控制阀下游, 容器进出口管嘴, 固体颗粒冲刷腐蚀
	均匀腐蚀	CO_2 环境, 流动条件, 点腐蚀
	局部腐蚀	CO_2 环境, 段塞流或低流动条件下, 点腐蚀
		$\text{H}_2\text{S}/\text{CO}_2$ 环境, 段塞流或流动条件下, 点腐蚀
干气	冲刷腐蚀(高速流体)	弯头, 三通, 突缩截面下游, 控制阀下游, 容器进出口管嘴, 流体冲刷腐蚀
	冲刷腐蚀(高速流体)	弯头, 三通, 突缩截面下游, 控制阀下游, 容器进出口管嘴, 流体冲刷腐蚀
	其他潜在的非腐蚀性失效模式, 如果气体含水, 风险同湿气	

3 腐蚀风险评估方法

腐蚀风险评估主要针对失效模式、影响及危险程度三个方面进行综合分析,腐蚀风险评估主要是对腐蚀危险程度进行评级,常见风险评估计算模型如下:

$$R=C \times F \quad (1)$$

式中 R ——风险;

C ——失效后果;

F ——失效频率。

在设计和运行阶段均可开展腐蚀风险评估,但在不同阶段腐蚀风险评估的主要目标不同。在设计阶段,腐蚀风险评估的目的是识别腐蚀风险较高的区域,并通过腐蚀缓解措施设计将腐蚀风险最小化;在运行阶段,其目的是对危险区域进行监测和检测,消除和改进不良的腐蚀缓解措施。

腐蚀是一种与时间有关的危害因素,在运行阶段,腐蚀造成的影响可以通过腐蚀监测和检测手段进行识别,并可通过合理的腐蚀控制管理及时预防和维护,腐蚀失效模式识别的难易程度将影响腐蚀风险的评估。因此,腐蚀风险评估过程中还引入了腐蚀失效模式识别因子,对腐蚀风险评估计算模型改良如下:

$$R_c=C_c \times F_c \times D_c \quad (2)$$

式中 R_c ——腐蚀风险;

C_c ——腐蚀失效后果;

F_c ——腐蚀因子,代表发生腐蚀导致风险的可能性,与腐蚀速率有关;

D_c ——识别因子,代表检测识别腐蚀失效的难易程度,与腐蚀监测和检测手段有关;

$F_{oc}=F_c \times F_d$, F_c 与 D_c 的乘积表示腐蚀失效的可能性。

风险评估过程中通常会引用风险矩阵来对风险进行分级,常见的风险矩阵有 3×3 矩阵、 5×5 矩阵以及 10×10 矩阵。图2为 10×10 的腐蚀风险矩阵和风险等级划分示意图,腐蚀失效的可能性与腐蚀失效后果的评价指数见表3。

在设计阶段,腐蚀风险评估中引用的腐蚀因子通

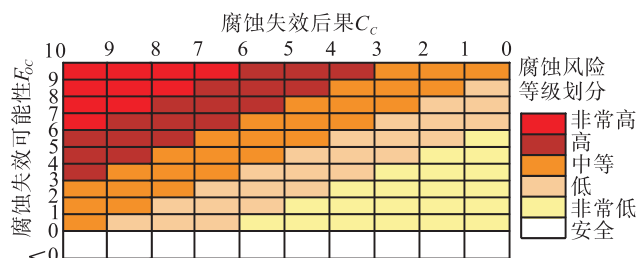


图2 腐蚀风险矩阵和风险等级划分

表3 腐蚀失效的可能性与腐蚀失效后果的评价指数

腐蚀失效可能性 F_{oc}	腐蚀失效后果 C_c	评级指数
腐蚀风险很低	后果轻微	0
⋮	⋮	1
⋮	⋮	2
⋮	⋮	3
⋮	⋮	4
⋮	⋮	5
⋮	⋮	6
⋮	⋮	7
⋮	⋮	8
⋮	⋮	9
会发生腐蚀	严重的安全风险	10

过腐蚀速率进行计算,公式如下:

$$F_c = \frac{10}{DL} \times (DL - \frac{t_{ca}}{CR}) \quad (3)$$

式中 DL ——设计寿命, a;

t_{ca} ——腐蚀裕量, mm;

CR ——腐蚀速率, mm/a。

4 腐蚀控制框架

腐蚀控制框架起于设计阶段,贯穿于整个生命周期。设计阶段,制定合理的防护设计和腐蚀控制框架,腐蚀控制框架应包括腐蚀控制措施、腐蚀监测和检测要求;在施工阶段,根据设计要求安装腐蚀监测装置,并测试记录基本数据;在运行阶段,根据运行过程中监测和检测结果对腐蚀控制框架进行优化和完善,进一步确保管网系统的完整性。表4、5分别列出了可供选择的常见腐蚀控制措施、腐蚀监测和检测方法。

表4 常见的腐蚀控制措施分类

腐蚀控制原理	腐蚀控制措施	腐蚀控制措施编号
材料选择	腐蚀裕量	M-01(材料选择)
	耐蚀材料	M-02(材料选择)
工艺控制	脱水	P-01(工艺控制)
	控制流速	P-02(工艺控制)
	清管	P-03(工艺控制)
化学试剂	缓蚀剂	C-01(化学处理)
	除氧剂	C-02(化学处理)
	脱硫剂	C-03(化学处理)
	生物灭杀剂	C-04(化学处理)
	pH 控制	C-05(化学处理)
涂层和内衬	涂层或喷漆	D-01(设计)
	非金属内衬或内衬耐蚀合金	D-02(设计)
阴极保护	强制电流法	D-03(设计)
	牺牲阳极	D-04(设计)

(下转第82页)

(上接第 70 页)

表5 常见的腐蚀监测和检测方法

在线监测技术	定期检测技术
插入式:各类腐蚀监测探针(电阻探针、线性极化探针、电化学噪音探针、氢探针等)	管壁检测:超声波测厚、超声导波检测
失重挂片	氢渗透仪
非插入式:超声波法	取样分析:失重挂片腐蚀速率分析
现场信号法(FSM)等	pH 值测试、水溶液中的铁离子浓度或残余缓蚀剂测试

5 腐蚀风险分析现状与建议

综上所述,含 H₂S/CO₂ 气田地面集输管网中的管道设备存在腐蚀风险,管道完整性应贯穿整个生命周期——设计、施工、运行。根据国外大型工程公司经验:对于腐蚀性气田的开发,材料选择与腐蚀控制十分重要,需要对腐蚀严重性进行预测分析,选择合适的腐蚀控制措施,通常在设计中会编制材料选择与腐蚀控制报告。国内项目中的腐蚀风险分析主要为简单的定性分析,缺少深入的量化分析。国外大型工程公司主要采用腐蚀软件进行腐蚀预测,不同的腐蚀预测软件预测的腐蚀速率可能有显著差异^[10],但都结合各自采用的腐蚀预测软件建立了相应的企业设计手册来指导设计。在设计阶段,根据腐蚀分析制定合适的腐蚀控制框架,制定过程中主要从材料选择、工艺控制和防腐设计三个方面综合考虑。对于腐蚀性气田地面集输系统,设计过程中开展腐蚀风险分析和制定腐蚀控制框架对管道完整性十分重要,建议在设计初期,工艺、材料和腐蚀专业加强沟通,在工艺设计过程中充分考虑材料选择和腐蚀控制,开展腐蚀风险分析,在安全可靠的基础上制定合适的腐蚀控制框架。

参考文献:

[1] 谢仲英,张平生,李鹤林,等. 某天然气管线输气站爆炸事故

分析[A]. 石油管材与装备失效分析案例集[C]. 北京:石油工业出版社,2006:421-436.

[2] 冯琦,何秀芬,杨英. 磨溪气田地面集输系统腐蚀现状及处理措施[J]. 天然气与石油,2003,21(3):28-31.

[3] 鲜宁,王泰晋,吴知谦,等. 酸性气田增压机组空冷机管束箱丝堵断裂失效原因分析[J]. 天然气与石油,2009,27(4):16-18.

[4] Dawson J, Bruce K, John D G. Corrosion Risk Assessment and Safety Management for Offshore Processing Facilities [R]. HSE: OTO, Offshore Technology Report, 1999.

[5] DEP 30.10.02.14, Carbon Steel Corrosion Engineering Manual for Upstream Facilities[S].

[6] DEP 31.40.00.19, Corrosion Mitigation Strategy for Wet Sour Gas Carbon Steel Pipelines[S].

[7] DEP 39.01.10.11, Selection of Materials for Life Cycle Performance (Upstream Facilities)—Materials Selection Process[S].

[8] GS EP COR 001, Corrosion Control on Production Facilities: Design and Construction[S].

[9] Patel R. Evaluation of Hydrocarbon Leaks due to Corrosion/Erosion in Offshore Process Plant [R]. Loughbrough University, 1997.

[10] Rolf N. Field Data Collection, Evaluation and Use for Corrosivity Prediction and Validation of Models[A], Houston: NACE International Annual Conference, 2006.