

基于 Kent 法的非金属管道风险评价方法

李春雨¹ 冯昕媛¹ 贺焕婷¹ 赵永平¹ 李程¹ 乔柏翔²

1. 中国石油青海油田公司钻采工艺研究院, 甘肃 敦煌 736200;
2. 中国石油青海油田公司采油一厂, 青海 茫崖 816400

摘要: 风险评价是管道完整性管理的重要内容和基础, 随着油气田集输管道完整性管理不断推进和发展, 非金属管道无成熟风险评价方法的问题逐渐突出。基于非金属管道失效风险因素的分析及某油田非金属管道失效统计结果, 建立了基于 Kent 法的非金属管道半定量风险评价方法。失效可能性评价指标包括第三方损坏、运行环境、设计与施工制造、误操作和水文地质灾害等 5 个方面 49 项评价指标; 失效后果指标包括介质短期危害、介质最大泄漏量、介质扩散性、影响对象、社会影响和供应中断对下游用户影响等 6 个方面 12 项具体评价指标。使用专家打分法优化设置了失效可能性指标权重系数和评价指标分数, 为油气田非金属集输管道风险评价的实施奠定基础。

关键词: 非金属管道; Kent 法; 半定量风险评价; 集输管道; 风险因素; 失效

DOI: 10. 3969 /j. issn. 1006-5539. 2023. 04. 002

Risk assessment of non-metallic oil and gas pipeline based on Kent method

LI Chunyu¹, FENG Xinyuan¹, HE Huanting¹, ZHAO Yongping¹, LI Cheng¹, QIAO Boxiang²

1. Drilling & Production Technology Research Institute of PetroChina Qinghai Oilfield Company, Dunhuang, Gansu, 736200, China;
2. No. 1 Oil Production Plant of PetroChina Qinghai Oilfield Company, Mangya, Qinghai, 816400, China

Abstract: Risk assessment is an important content and basis of pipeline integrity management. With the continuous progress and development of the integrity management of oil and gas field gathering and transmission pipelines, the lack of mature risk assessment methods for nonmetallic pipelines has become increasingly prominent. Based on the analysis of failure risk factors of non-metallic pipelines and statistical results of failures in an oilfield, a semi-quantitative risk assessment method based on the Kent method for non-metallic oil and gas transmission pipelines was established. The evaluation index of failure possibility includes 49 evaluation indices from five aspects: third-party damage, operating environment, design, manufacture and construction, mal-operation and geological hazards. The failure consequence indicators covers 6 aspects, including short-term damage caused by the medium, maximum leakage of the medium, dispersion of the medium, the affected parties, social impact, and the impact of supply interruption on downstream users, with a total of 12 specific evaluation indicators. The failure probability index weighting coefficient and evaluation index score are optimally determined by expert scoring method. This risk assessment method of non-metallic pipelines lays a foundation for the implementation of risk assessment of

收稿日期: 2023-04-23

基金项目: 中国石油青海油田公司科研项目“青海油田集输管道失效率统计及失效规律研究”(2022K38)

作者简介: 李春雨(1986-), 男, 山东兰陵人, 高级工程师, 硕士, 主要从事油气田管道和站场完整性管理、腐蚀与防护等方面研究工作。E-mail: lchunyhq@petrochina.com.cn

non-metallic gathering and transmission pipelines in oil and gasfields.

Keywords: Non-metallic pipe; Kent method; Semi-quantitative risk assessment; Oil and gas gathering and transmission pipeline; Risk factor; Pipeline failure

0 前言

管道风险评价是通过管道生产、建造和运行中面临的风险和失效后的后果进行综合分析,评价管道在当前状态下的安全风险,并根据风险可接受等级确定管道运行维护的策略。管道风险评价是管道完整性管理的重要内容和基础。管道风险评价在20世纪90年代由国外引荐到国内,随着管道完整性管理在长输油气管道的应用和发展,国内相关领域专家学者也对管道风险评价进行了大量研究和实践^[1-4]。2014年中国石油率先在油气田集输管道推广应用管道完整性管理,集输管道风险评价方法和评价指标体系逐步建立起来^[5-7]。这些评价方法在吸收长输管道风险评价技术的基础上,针对金属材质集输管道内外腐蚀、第三方破坏、制造缺陷和误操作等主要失效因素^[8-10],优化风险评价指标体系,建立评价模型^[11-12],在理论研究和工程应用中均取得了一定效果。

当前应用的管道风险评价方法多针对金属管道,随着非金属管道在油气集输系统中的应用越来越广泛和深入^[13-15],非金属管道风险评价方法的欠缺逐步成为影响非金属管道风险管理的重要因素之一。非金属管道良好的耐腐蚀性能和较弱的耐外力损伤特性与金属管道具有显著区别^[16]。当前针对金属管道建立的风险评价指标和方法无法直接应用于非金属管道的风险评价^[17],非金属管道风险评价模型和方法还需进一步建立和完善。

对油气田非金属管道失效原因和主要失效因素进行调研分析,结合西部某油田非金属管道失效数据的统计分析结果,总结明确油气田集输用非金属管道失效原因和主要失效因素。1992年,美国学者Kent提出根据风险的定义,用分数的高低来旁证风险相对大小的管道风险评估方法,称为Kent法。以Kent法为基础,确定了非金属管道失效可能性和失效后果指标,建立了一套非金属管道半定量风险评价指标体系和评价方法,并在油气田管道完整性管理中进行了应用,实现了非金属管道风险评价。

1 非金属管道失效因素分析

非金属管道失效因素与模式是构建失效可能性指标的主要依据。非金属管道一般具有良好的耐蚀性能,不会因内外腐蚀导致管道失效。同时与金属管道相比,

非金属管道本体相对较为脆弱,在制造、运输、装卸、存储和安装过程中,原料质量不合格、设计系数不足、划伤、弯曲过大、存储不当、撞击、胶粘连接温度不当、上扣力度不当,柔性管布管时拧变、打结,热熔连接过焊和未焊透等因素均可导致非金属管道出现损伤。在管道使用过程中这些损伤不断发展,最终导致管道失效,主要表现为管道本体或接头渗漏、爆管^[15,18]。非金属管道主体或填充材料为有机材质,本体强度较低,对温度、压力、使用时间和使用环境较为敏感^[17,19],这些因素均可能导致管道损伤并立即或在一定时间后导致管道失效^[20]。第三方施工及洪水和沉降等水文地质灾害也容易导致非金属管道损伤失效^[21]。非金属管道失效因素见表1,主要分为第三方破坏、运行环境、设计与施工制造、误操作和水文地质灾害5个方面。

表1 非金属管道失效因素表

Tab. 1 Failure factors of non-metallic pipelines

失效因素	具体因素
第三方破坏	人员和施工活动程度、管道安全防护、警示标识、管道巡护预警
运行环境	管道超温超压运行状况及程度、水击产生可能性及其程度、沿线河流及其洪涝频率
设计与施工制造	管道材质、连接类型、运行压力、温度适用性、安全系数、稳管措施、制造原材料及元件质量、存储与搬运合规性、现场存放和连接质量、回填质量、试压情况
误操作	设计中危害因素误识别、运行温度压力与实际不符;施工中不同管材、连接材料混用,管道过度弯曲、拉伸,试压中超压;运行维护中误操作、操作规程失误、培训不足导致误操作等
水文地质灾害	洪涝灾害、地面沉降、地震、滑坡、泥石流

不同类型非金属管道及其设计、制造、安装和运行环境的差异也导致不同地区非金属管道失效主要原因差异极大^[14,22]。以西部某油田为例,油田采出水具有高矿化度、高氯离子和含硫的特点,钢质集输管道结垢腐蚀失效问题突出,广泛应用非金属管道来应对内腐蚀问题。目前该油田非金属管道里程达853 km,主要为玻璃钢管道,同时近年来逐渐推广应用了柔性复合管、钢骨架复合管、热塑性塑料内衬玻璃钢复合管等新型非金属管材。该油田非金属管道失效因素见表2,主要失效因素为设计与施工制造,占比超过78%,主要表现为玻璃钢管道接头断裂和渗漏、本体爆管等。水文地质灾害主

要为盐渍土受淡水影响盐溶导致管道周边土壤空洞、覆土不均匀拉断管道。第三方破坏主要为管道周围施工时,开挖工具损伤管道本体。误操作主要为堵管失效或解堵压力过高导致管道爆管失效。

表 2 西部某油田非金属管道失效因素统计表

Tab. 2 Failure factors statistics of non-metallic pipelines in an oilfield

失效因素	统计时段		
	2019 年	2020 年	2021 年
第三方破坏	2	1	5
运行环境	9	13	9
设计与施工制造	42	47	71
误操作	2	0	0
水文地质灾害	3	1	0

2 风险评价指标体系

2.1 失效可能性指标

失效可能性指标是非金属管道显著区别于金属管道的主要内容^[23]。在非金属管道失效因素梳理分析基础上,参考 GB/T 27512—2011《埋地钢质管道风险评估方法》(以下简称 GB/T 27512—2011),将非金属管道风险因素确定为第三方损坏、运行环境、设计与施工制造、误操作和水文地质灾害等 5 个一级指标,包含 34 个二级指标和 49 项评价指标,具体指标见表 3~7。失效可能性指标涵盖了导致非金属管道失效的主要因素,综合考虑了管道风险防护、预警和运行维护,具有普适性。失效可能性一级指标总分为 100,通过专家打分交流确定了二级指标和评价指标分值。

表 3 第三方损坏指标及分值表

Tab. 3 Indicators and scores of third-party damage

二级指标	评价指标	分值
管道覆土	管道覆土层最小厚度	15
地面活动	地区等级	5
	交通繁忙程度	5
	建设活动	10
	农业活动	5
地面装置	与公路距离	3
	安全防护	4
	警示标识	3
管道占压	管道占压情况	15
打孔盗油气和取土	打孔盗油气和取土	15
管道标识	地面标志	5
	管线走廊	5
巡线	巡线情况	15

表 4 运行环境指标及分值表

Tab. 4 Indicators and scores of the operating environment

二级指标	评价指标	分值
管道失效情况	同区块管道失效情况	20
年限	管道运行年限	20
洪涝灾害	洪涝灾害及季节性河流	10
水击	水击产生程度	10
超压	超压运行情况	20
超温	超温运行情况	20

表 5 设计与施工制造指标及分值表

Tab. 5 Indicators and scores of design, construction and manufacture

二级指标	评价指标	分值
安全系数	管道设计安全系数	10
压力试验	压力试验系数	10
管道高程	管道高程变化	10
土壤移动	土壤地质情况	10
稳管措施	管道稳管设计	10
元件质量控制	管道元件质量控制	10
管道存储与搬运	管道存储与搬运	10
施工质量	管道施工质量控制	10
施工环境	管道施工环境控制	10
回填质量	管道回填质量控制	10

表 6 误操作指标及分值表

Tab. 6 Indicators and scores of mal-operation

二级指标	评价指标	分值
设计中的误操作	危害识别及准确性	5
	安全系数设置合理性	7
	达到设计压力可能性	8
施工中的误操作	管材混用可能性	10
	连接材料混用可能性	10
	施工规范性	10
运行中的误操作	工艺规程管理	10
	日常检查维护	10
	员工培训	10
维护中的误操作	数据资料管理	10
	维修计划及完整性	10

表7 水文地质灾害指标及分值表

Tab.7 Indicators and scores of geological hazards

二级指标	评价指标	分值
已识别灾害点	易发性	三项相乘,最高 100
	管道失效可能性	
	治理情况	
地形地貌	地形地貌	25
降雨敏感性	降雨敏感性	10
土体类型	土体类型	20
管道敷设方式	管道敷设方式	25
人类工程活动	人类工程活动	15
管道保护状况	管道保护状况	5

2.2 失效后果指标

相同条件下的非金属管道和金属管道,其失效后果一致。综合考虑 GB/T 27512—2011 和 SY/T 6891.1—2012《油气管道风险评价方法 第1部分 半定量评价法》等标准设置,结合油田地理和社会环境,将非金属管道失效后果指标确定为介质短期危害、介质最大泄漏量、介质扩散性、影响对象、社会影响和供应中断对下游用户影响等6个方面,12项具体评价指标,具体指标和分值见表8。

表8 失效后果指标及分值表

Tab.8 Indicators and scores of failure consequences

一级指标	评价指标	分值
介质短期危害	介质燃烧性	12
	介质反应性	
	低放热值的峰值温度	
	最高工作压力	
介质最大泄漏量	介质毒性	12
	液相和气相介质最大泄漏量	20
介质扩散性	液相和气相介质扩散性	15
影响对象	失效后的影响对象	25
社会影响	失效原因	12
	媒体报道	6
供应中断对下游用户影响	抢修时间	9
	影响范围和程度	15
	介质依赖性	12

2.3 风险确定

2.3.1 失效可能性分值计算

失效可能性得分按照式(1)进行计算。

$$S = a_1 S_1 + a_2 S_2 + a_3 S_3 + a_4 S_4 + a_5 S_5 \quad (1)$$

式中: $a_1 \sim a_5$ 为修正系数(可根据各油田非金属管道失

效情况调整); S 为失效可能性得分; S_1 为第三方破坏得分,各评价指标得分之和; S_2 为运行环境得分,各评价指标得分之和; S_3 为设计与施工制造得分,各评价指标得分之和; S_4 为误操作得分,各评价指标得分之和; S_5 为水文地质灾害得分,各评价指标得分之和。

非金属管道本体脆弱,对外力抵抗性差,管体强度随运行年限延长自然老化下降^[24],同时不规范的储存、运输、施工和运行均可能产生潜在损伤。不同区域油田非金属管道某一方面原因失效可能极为突出。失效可能性计算方法能够综合反应管道失效风险,但因每个一级指标仅占总失效可能性指标一部分,导致某项一级指标导致失效的可能性极大时,管道总体失效分数不能准确反应管道失效可能性,故补充以下规则:当某个一级指标得分超过75分时,直接将 S 调整为该项指标得分。

2.3.2 失效后果分值计算

失效后果按照式(2)进行计算。

$$C = C_1 + C_2 + C_3 + C_4 + C_5 + C_6 \quad (2)$$

式中: C 为失效后果; C_1 为介质短期危害性得分,各评价指标得分之和; C_2 为介质最大泄漏量得分; C_3 为介质扩散性得分; C_4 为影响对象得分,各评价指标得分之和; C_5 为社会影响得分,各评价指标得分之和; C_6 为供应中断对下游用户的影响得分。

2.3.3 风险等级划分

评价管道的风险值 $R = S \times C$,按照风险值进行风险等级划分为低风险、中风险、较高风险和高风险,具体见表9。

表9 非金属管道风险等级划分及可接受准则表

Tab.9 Risk classification and acceptable accuracy of non-metallic pipeline

风险值 R 范围	风险等级	风险可接受情况
$0 \leq R < 3\ 600$	低风险	管道风险可以接受,不必采取额外技术、管理方面的预防措施
$3\ 600 \leq R < 7\ 800$	中风险	管道风险有条件接受,有进一步实施预防措施以提升安全水平的必要
$7\ 800 \leq R < 12\ 600$	较高风险	
$12\ 600 \leq R < 15\ 000$	高风险	管道风险不可接受,必须尽快采取有效应对措施将风险等级降低到可接受水平

3 应用实例

根据西部某油田非金属管道失效现状和当前非金属管道面临的风险因素,通过专家打分法,确定油田范围内非金属管道风险评价失效可能性指标修正系数为

$a_1 = 0.20, a_2 = 0.18, a_3 = 0.35, a_4 = 0.15, a_5 = 0.12$ 。油田某非金属管道,材质为聚乙烯内衬玻璃钢管道,规格 DN200,连接方式为钢转接头连接,长度 12 km,输送介质为原油,管道 0 ~ 7.5 km 里程为荒漠戈壁环境,管道 7.5 ~ 12 km 里程穿越油区并穿越国道 1 条。

使用基于 Kent 法的非金属管道半定量风险评价法进行风险评价,全管划分为 2 个评价管段进行风险评价,收集了管道建设资料、路由信息和管道运行信息,并现场踏勘管道,走访管道巡护人员。管道风险评价指标得分情况见表 10,该管道无需整体赋值,按照设定的修正系数对失效可能性进行计算。评价管段 1 S 得分 38.2, C 得分 82, R 为 3 132.4,根据风险标准,该管段处于低风险等级;评价管段 2 S 得分 53.2, C 得分 93, R 为 4 947.6,

根据风险标准,该管段处于中风险等级。

该管道整体敷设环境为戈壁环境,管道周边无常驻人口,整体处于一级地区,除国道和油区段外无建设等人员活动。管道沿线土壤为沙土,气候干燥,无植被覆盖。评价管段 2 穿越原油生产区,沿线地势存在一定起伏,以及第三方破坏和土壤移动导致管段损伤可能性。该管段穿越 1 条国道,形成管道高后果区,但运行单位目前未针对高后果区开展风险评价和采取风险消减措施,存在一定风险。在失效后果方面,穿越国道敷设的管道泄漏后存在沿地势流淌和更多社会关注问题,导致更大的失效后果。建议开展高后果区管道风险评价,并在油区和高后果区采取加强警示标识、优化管道防护措施和提高巡检频率等风险控制措施。

表 10 管道失效可能性和失效后果得分表

Tab. 10 Pipeline failure probability and failure consequences score

类别	评价管段 1		评价管段 2	
	得分	失效因素描述	得分	失效因素描述
失效可能性	$S_1 = 35$	戈壁环境,埋深 1.0 ~ 1.5 m,地区等级为一级,地面建设及农业活动少;管道无占压、标识正常,巡检正常未发生打孔盗油现象	$S_1 = 56$	管段周边存在较为频繁施工、开挖等活动,油区内道路及国道交通较为繁忙
	$S_2 = 32$	投入使用 3 年,穿越季节性河流 1 处,但水量较小,管道为集油干线管道,监控设施齐全,超压、超温运行可能性小	$S_2 = 52$	油区内其他非金属管道多次发生施工损伤泄漏问题
	$S_3 = 42$	管道承压指标 > 设计压力,试验压力 1.25 倍,沿线平坦无土体移动、盐溶风险,管道元件质量控制较好,存储与搬运、施工质量及环境控制一般,管材未进行第三方质检	$S_3 = 57$	管道沿线高差 > 50 m,未采取额外稳管措施
	$S_4 = 38$	管道设计中无安全评价,设置了压力监测,视频检测,基本无达到最大允许操作压力的条件;施工中不存在材料混用等现象;运行中制定了完整操作规程、开展了员工培训	$S_4 = 51$	未针对穿越国道的高后果区开展风险评价和针对性风险消减措施
	$S_5 = 42$	存在 1 处季节性河流,采取了硬化过水路面等措施。管道处于干旱戈壁沙土环境,地势平坦无植被覆盖,降雨导致覆土冲毁可能性高,但降雨概率较低	$S_5 = 42$	存在 1 处季节性河流,设置硬化的过水路面
失效后果	$C_1 = 20$	输送介质为原油,可燃,最高工作压力 > 0.68 MPa,介质泄漏对自然环境存在一定危害性	$C_1 = 20$	与评价管段 1 一致
	$C_2 = 8$	根据管道设计压力、管径和巡检频次等因素计算	$C_2 = 8$	与评价管段 1 一致
	$C_3 = 9$	根据管道沿线土壤质地和渗漏率、地形等因素计算	$C_3 = 12$	管道地形高差大,存在液体流淌
	$C_4 = 10$	根据管道沿线人口密集程度、环境敏感性及其他敏感场所等因素计算	$C_4 = 13$	穿越国道
	$C_5 = 9$	根据泄漏原因和媒体报道可能性等因素计算	$C_5 = 14$	管线靠近并穿越国道,媒体报道可能性大
	$C_6 = 26$	根据抢修时间、影响范围和程度和介质依赖性等因素计算	$C_6 = 26$	与评价管段 1 一致

4 结论

1) 非金属管道失效因素与金属管道失效因素显著不同,非金属管道风险评价不可直接套用金属管道风险评价标准,但当前无成熟可用的非金属管道半定量风险评价方法。

2) 采用 Kent 法基本理念,结合非金属管道失效风险因素结合西部某油田实际情况,建立了非金属集输管道半定量风险评价方法。失效可能性评价指标包括第三方损坏、运行环境、设计与施工制造、误操作和水文地质灾害等 5 个一级指标、34 个二级指标和 49 项评价指标。失效后果指标包括介质短期危害、介质最大泄漏量、介质扩散性、影响对象、社会影响和供应中断对下游用户影响等 6 个方面,12 项具体评价指标。

3) 不同材质、不同油田的非金属管道失效主控因素差异较大,在风险评价中不宜使用固定评价模型,应根据实际应用情况对评价模型进行修正和优化,以便更加准确评价管道风险。

参考文献:

- [1] 帅 健,单 克.基于失效数据的油气管道定量风险评价方法[J].天然气工业,2018,38(9):129-138.
SHUAI Jian, SHAN Ke. A quantitative risk assessment method for oil and gas pipelines based on failure data [J]. Natural Gas Industry, 2018, 38 (9): 129-138.
- [2] 戴联双,张俊义,张 鑫,等. RiskScore 管道风险评价方法与应用[J]. 油气储运,2010,29(11):818-820.
DAI Lianshuang, ZHANG Junyi, ZHANG Xin, et al. RiskScore pipeline risk assessment method and its application [J]. Oil & Gas Storage and Transportation, 2010, 29 (11): 818-820.
- [3] 田思祺,高 鹏,刘 畅.基于云模型的跨越管道综合风险评估[J]. 油气储运,2021,40(7):822-827.
TIAN Siqi, GAO Peng, LIU Chang. Comprehensive risk assessment of crossover pipelines based on cloud model [J]. Oil & Gas Storage and Transportation, 2021, 40 (7): 822-827.
- [4] 王 新,刘建平,张 强,等.油气管道定量风险评价技术发展现状及对策[J]. 油气储运,2020,39(11):1238-1243.
WANG Xin, LIU Jianping, ZHANG Qiang, et al. Development status and countermeasures of quantitative risk assessment technology for oil & gas pipeline [J]. Oil & Gas Storage and Transportation, 2020, 39 (11): 1238-1243.
- [5] 李 雪,朱庆杰,周 宁,等.油气集输管道风险评估及防护研究综述[J]. 工业安全与环保,2018,44(8):9-11.
LI Xue, ZHU Qingjie, ZHOU Ning, et al. Risk assessment and protective measures for oil-gas gathering and transferring pipeline [J]. Industrial Safety and Environmental Protection, 2018, 44 (8): 9-11.
- [6] 贺焕婷,惠贤斌,吴东容,等.涩北气田集输管道风险评价方法修正[J]. 油气储运,2020,39(8):892-897.
HE Huanting, HUI Xianbin, WU Dongrong, et al. Correction of risk assessment method for gathering and transportation pipelines in Sebei Gas Field [J]. Oil & Gas Storage and Transportation, 2020, 39 (8): 892-897.
- [7] 邹晓燕,崔 鹏,霍凤彦,等.大港油田管道风险评价方法研究与应用[J]. 石油石化节能,2019,9(11):42-46.
ZOU Xiaoyan, CUI Peng, HUO Suyan, et al. Study and application of pipeline risk evaluation method in Dagang Oilfield [J]. Energy Conservation in Petroleum & Petrochemical Industry, 2019, 9 (11): 42-46.
- [8] 李春雨,冯昕媛,詹 英,等.昆北油田 Q12 区块集输管道腐蚀穿孔分析[J]. 油气田地面工程,2017,36(5):88-92.
LI Chunyu, FENG Xinyuan, ZAN Ying, et al. Analysis of corrosion and perforation of the gathering and transportation pipelines in Q12 Area of Kunbei Oilfield [J]. Oil-Gas Field Surface Engineering, 2017, 36 (5): 88-92.
- [9] 李春雨,冯昕媛,李本全,等.青海油田原油集输管线失效原因及对策[J]. 石油化工腐蚀与防护,2016,33(4):52-54.
LI Chunyu, FENG Xinyuan, LI Benquan, et al. Causes of failure of crude oil gathering pipelines in Qinghai oil field and countermeasures [J]. Corrosion & Protection in Petrochemical Industry, 2016, 33 (4): 52-54.
- [10] 刘沛华,李 岩,符卫平.鄂尔多斯盆地在役集输管道泄漏危害识别与防控阻力辨析[J]. 中国特种设备安全,2016,32(11):61-65.
LIU Peihua, LI Yan, FU Weiping. Analysis on the hazard identification of leakage and drag force of prevention for in-service gathering pipelines in the Ordos Basin [J]. China Special Equipment Safety, 2016, 32 (11): 61-65.
- [11] 易云兵,姚安林,姚 林,等.油气管道风险评价技术概述[J]. 天然气与石油,2005,23(3):16-19.
YI Yunbing, YAO Anlin, YAO Lin, et al. Brief introduction to risk assessment technology for oil and gas pipelines [J]. Natural Gas and Oil, 2005, 23 (3): 16-19.
- [12] 全国锅炉压力容器标准化技术委员会.埋地钢质管道风险评估方法:GB/T 27512—2011[S].北京:中国标准出版社,2012.
SAC/TC 262. Risk assessment for buried steel pipeline: GB /T 27512—2011 [S]. Beijing: Standards Press of China, 2012.

- [13] 李忠,王宏军,卫杰. 非金属管道在塔里木油田集油系统的应用[J]. 油气储运, 2003, 22(1): 37-39.
LI Zhong, WANG Hongjun, WEI Jie. The application of plastic pipelines in oil gathering system of Tarim Oilfield [J]. Oil & Gas Storage and Transportation, 2003, 22 (1): 37-39.
- [14] 夏蓉. 非金属管道在大庆油田应用的适应性及运维措施[J]. 油气田地面工程, 2019, 38(11): 12-14.
XIA Rong. Adaptability and operation & maintenance measures of non-metallic pipeline in Daqing Oilfield [J]. Oil-Gas Field Surface Engineering, 2019, 38 (11): 12-14.
- [15] 何冯清,吴燕,刘炜,等. 非金属管道在新疆油田的应用[J]. 油气田地面工程, 2016, 35(1): 94-96.
HE Fengqing, WU Yan, LIU Wei, et al. Application of non-metallic pipelines in Xinjiang Oilfield [J]. Oil-Gas Field Surface Engineering, 2016, 35 (1): 94-96.
- [16] 许艳艳,葛鹏莉,肖雯雯,等. 塔河油田非金属管失效分析与评价体系的建立[J]. 石油与天然气化工, 2020, 49(4): 78-82.
XU Yanyan, GE Pengli, XIAO Wenwen, et al. Establishment of failure analysis and evaluation system for non-metallic pipes in Tahe Oilfield [J]. Chemical Engineering of Oil and Gas, 2020, 49 (4): 78-82.
- [17] 何树全,张宝良,刘博昱,等. 油田埋地非金属管道完整性管理技术探讨[J]. 油气田地面工程, 2019, 38(增刊1): 123-126.
HE Shuquan, ZHANG Baoliang, LIU Boyu, et al. Discussion on the integrity management technology of oilfield buried non-metallic pipeline [J]. Oil-Gas Field Surface Engineering, 2019, 38 (Suppl 1): 123-126.
- [18] 李晓平,李愚,王芾玺,等. 非金属复合材料管道综述[J]. 石油工业技术监督, 2017, 33(10): 1-4.
LI Xiaoping, LI Yu, WANG Fuxi, et al. Summary of nonmetallic composite pipeline [J]. Technology Supervision in Petroleum Industry, 2017, 33 (10): 1-4.
- [19] 丁楠,李厚补,齐国权,等. 油气田地面非金属管道现场监测技术[J]. 石油管材与仪器, 2018, 4(2): 32-35.
DING Nan, LI Houbu, QI Guoquan, et al. NDT and monitoring technology of non-metallic pipelines used in oil / gas fields [J]. Petroleum Tubular Goods & Instruments, 2018, 4 (2): 32-35.
- [20] 蔡亮学,朱国承,池坤,等. 长庆油田4731B型非金属集输管道老化特性实验研究[J]. 中国安全生产科学技术, 2020, 16(6): 16-22.
CAI Liangxue, ZHU Guocheng, CHI Kun, et al. Experimental study on aging characteristics of 4731B non-metal gathering pipelines in Changqing Oilfield [J]. Journal of Safety Science and Technology, 2020, 16 (6): 16-22.
- [21] 韩方永,丁建宇,孙铁民,等. 油气田应用非金属管道技术研究[J]. 石油规划设计, 2012, 23(6): 5-9.
HAN Fangyong, DING Jianyu, SUN Tiemin, et al. Application of the nonmetallic pipeline technologies to the oil and gas field [J]. Petroleum Planning & Engineering, 2012, 23 (6): 5-9.
- [22] 齐丽薇. 非金属管道在油田中的应用现状与对策[J]. 化学工程与装备, 2021(3): 132-133.
QI Liwei. Application status and countermeasures of non-metallic pipeline in oil field [J]. Chemical Engineering & Equipment, 2021 (3): 132-133.
- [23] 齐国权,崔小虎,祁小兵,等. 地面集输用柔性复合管开裂失效原因分析[J]. 石油管材与仪器, 2020, 6(2): 79-82.
QI Guoquan, CUI Xiaohu, QI Xiaobing, et al. Cracking failure of reinforced thermoplastic pipe used in ground gathering and transportation [J]. Petroleum Tubular Goods & Instruments, 2020, 6 (2): 79-82.
- [24] 荆炆,赵康. 油田集输用在役玻璃钢管道性能测试及失效分析[J]. 塑料工业, 2021, 49(3): 118-125.
JING Yang, ZHAO Kang. Performance test and failure analysis of fiber reinforced plastic pipes in service of oil field gathering and transportation [J]. China Plastics Industry, 2021, 49 (3): 118-125.