

外径和壁厚的制造偏差对管道可靠度的影响

王慧平 曾 伟

江西理工大学土木与测绘工程学院, 江西 赣州 341000

摘 要:管道外径和壁厚是管道设计的重要参数,但由于现有工艺技术的限制,在制作过程中外径和壁厚必然存在一定的制造偏差,对管道可靠度会造成一定影响。为明确外径和壁厚的制造偏差对管道可靠度的影响,首先通过管道几何尺寸测量仪获得了管道的外径与壁厚数据,研究了管道外径和壁厚的分布规律;然后建立计算管道压力的极限状态函数,利用一次二阶矩法推导了考虑管道外径和壁厚制造偏差影响的管道可靠度计算公式;在此基础上,研究了管道外径和壁厚的平均值与标准差对管道失效概率的影响,并分析了管道失效概率对各个影响因素的敏感程度。研究表明,管道外径制造偏差对管道可靠度的影响较小,而壁厚制造偏差对管道可靠度的影响相对较大。因此,在管道加工制作过程中,应严格控制壁厚的制造偏差。

关键词:管道;外径制造偏差;壁厚制造偏差;可靠度;一次二阶矩法

DOI:10.3969/j.issn.1006-5539.2023.04.006

Effect of deviation from manufacturing tolerances of the outer diameter and wall thickness on pipeline reliability

WANG Huiping, ZENG Wei

School of Civil and Surveying & Mapping Engineering, Jiangxi University of Science and Technology,
Ganzhou, Jiangxi, 341000, China

Abstract: The outer diameter and wall thickness of pipeline are important parameters in pipeline design. But due to the limitation of the existing technology, there will be a deviation from manufacturing tolerances of the outer diameter and wall thickness in the pipeline production process, which will have certain impact on pipeline reliability. In order to study the influence of deviations from manufacturing tolerances of outer diameter and wall thickness on pipeline reliability, this paper obtained the data of pipe outer diameter and wall thickness by pipeline geometry dimension measuring instrument, and studied the distribution law of pipe outer diameter and wall thickness. The limit state-function for calculating pipeline pressure is established and the reliability calculation formula considering the influence of deviation from manufacturing tolerances of pipeline is derived by using first-order second-moment method. On this basis, the influence of average and standard deviation of pipe outer diameter and wall thickness on pipeline failure probability was studied, and the sensitivity of pipeline failure probability to the geometric parameters was analyzed. The results show that the deviation from manufacturing tolerances of outer diameter has little influence on pipeline reliability, while that deviation of wall thickness has relatively large influence on pipe

投稿日期:2023-01-08

基金项目:江西理工大学博士启动基金资助项目“联合荷载作用下海底管道的弯曲破坏特性研究”(205200100140)

作者简介:王慧平(1985-),女,吉林长春人,讲师,博士,主要从事管道可靠度方面的研究工作。E-mail: 421861762@qq.com

reliability. Therefore, the deviation from manufacturing tolerances of wall thickness should be strictly controlled in the process of pipeline production.

Keywords: Pipeline; Deviation from manufacturing tolerances of the outer diameter; Deviation from manufacturing tolerances of the wall thickness; Reliability; First-order second-moment method

0 前言

管道是石油天然气开发和运输必不可少的一部分^[1-4],一旦发生油气泄漏,将造成巨大损失,严重破坏周边环境^[5-8]。国内外学者对管道的可靠度计算开展了大量研究^[9-11],提出了多种计算管道可靠度的方法,包括一次二阶矩法^[12-14]、蒙特卡洛法^[15-17]、随机有限元法^[18-19]等,研究了管道的设计系数对管道可靠度的影响^[20-21],并对基于可靠度的管道壁厚设计进行了优化^[22],探讨了腐蚀对管道可靠度的影响^[16,23]。由于现有工艺技术的限制,在管道制作过程中外径和壁厚必然存在一定制造偏差,研究表明,制造偏差对管道的承载力有一定影响^[24-26]。

本文首先通过管道几何尺寸测量仪^[27]获得了管道

外径与壁厚数据,研究了管道外径和壁厚的分布规律;然后建立管道压力计算的极限状态函数,利用一次二阶矩法推导了考虑管道外径和壁厚制造偏差影响的管道可靠度计算公式;最后研究了管道外径和壁厚的平均值与标准差对管道失效概率的影响,并分析了管道失效概率对各个影响因素的敏感程度。

1 管道外径和壁厚的分布研究

管道几何尺寸测量仪包括管道直径测量仪和超声波测厚仪,见图1。通过管道几何尺寸测量仪测量了管道的外径和壁厚分布情况。按照管道标准规格,3根管道取用外径均为356.0 mm,公称壁厚均为10.0 mm。统计得到3根管道外径和壁厚,直方图分别见图2~3。从图2~3可以看出,管道的外径和壁厚参数基本符合正态分布规律。



a) 管道直径测量仪

a) Pipeline diameter measuring machine

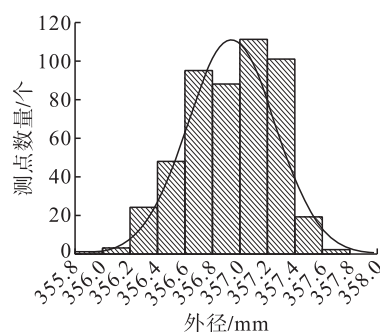


b) 超声波测厚仪

b) Ultrasonic thickness gauge

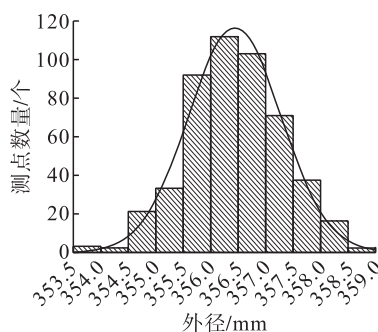
图1 管道几何尺寸测量仪照片

Fig. 1 Photos of pipeline geometry measuring instrument



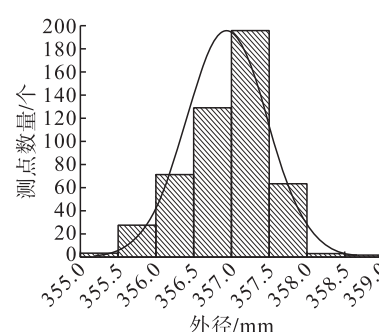
a) 管道 1

a) Pipeline 1



b) 管道 2

b) Pipeline 2



c) 管道 3

c) Pipeline 3

图2 管道外径直方图

Fig. 2 Histogram of outer diameter for pipeline

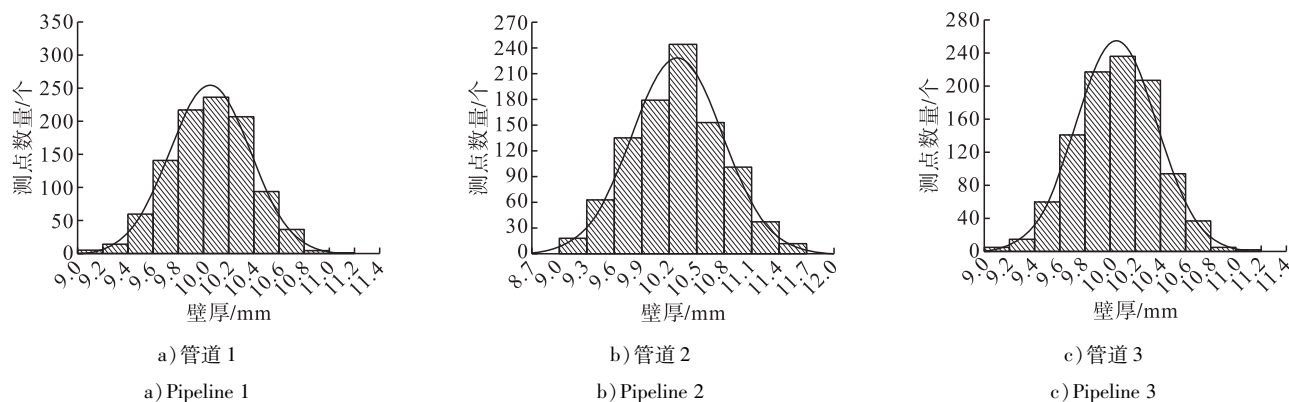


图3 管道壁厚直方图

Fig. 3 Histogram of the wall thickness for pipeline

通过统计数据获得的管道外径和壁厚的平均值和标准差见表1。

表1 管道外径与壁厚的均值和标准差表

Tab. 1 The average and standard deviation of pipeline outer diameter and wall thickness

管道	外径		壁厚	
	均值/mm	标准差	均值/mm	标准差
管道1	356.938	0.318	10.063	0.391
管道2	356.430	0.841	10.283	0.490
管道3	356.942	0.535	10.118	0.535

由表1可知,所测管道外径的制作偏差在1.0 mm以内,标准差在0.9以内;壁厚的制作偏差在0.3 mm以内,标准差在0.6以内。

2 管道可靠度的一次二阶矩法

中国现行标准 GB 50251—2015《输气管道工程设计规范》(以下简称 GB 50251—2015)中,采用管道内压所产生的环向应力作为管道设计的标准。本文通过管道的内压建立管道极限状态方程。

管道的环向应力可以表示为:

$$\sigma = \frac{pD}{2\delta} \quad (1)$$

式中: σ 为管道所受环向应力,Pa; p 为管道内压,Pa; D 为管道外径,mm; δ 为管道壁厚,mm。

由管道外径和壁厚的分布研究可知,管道的外径和壁厚基本符合正态分布规律,记为 $D \sim N(\mu_D, \sigma_D)$, $\delta \sim N(\mu_\delta, \sigma_\delta)$,其中 μ_D 、 μ_δ 分别为管道外径、壁厚的平均值,mm; σ_D 、 σ_δ 分别为管道外径、壁厚的标准差。

当 σ 达到钢材的屈服强度时,则认为管道承载能力达到极限,由式(1)可知,在某个实际的外径和壁厚下,管道所能承受的内压可表示为:

$$p = \frac{2f_y\delta^*}{D^*} \quad (2)$$

式中: f_y 为钢材的屈服强度,Pa; D^* 为管道上测点的外径,mm; δ^* 为管道上测点的壁厚,mm。

依据 GB 50251—2015,管道内部能够安全施加的内压可以表示为:

$$p_0 = \frac{2Ff_y\varphi\delta_0 t}{D_0} \quad (3)$$

式中: p_0 为管道的极限内压,Pa; D_0 为取用外径,mm; δ_0 为公称壁厚,mm; F 为强度设计系数; φ 为焊缝系数; t 为温度折减系数。为了研究外径与壁厚的制造偏差对管道可靠度的影响,将 φ 和 t 的值均取为1。

这里只考虑管道外径和壁厚的制造偏差对可靠度的影响,把极限状态函数 Z 表示成关于随机变量 D 和 δ 的函数 $g(D, \delta)$ 。因此构建管道的极限状态函数为:

$$Z = g(D, \delta) = \frac{2f_y\delta}{D} - \frac{2Ff_y\delta_0}{D_0} \quad (4)$$

式中: Z 为管道的极限状态函数, Z 大于0表示管道处于可靠状态, Z 小于0表示管道处于失效状态, Z 等于0表示管道处于极限状态。

那么相应的极限状态函数的梯度可以表示为:

$$\nabla g(D, \delta) = \left(\frac{\partial g}{\partial D}, \frac{\partial g}{\partial \delta} \right)^T = \left(-\frac{2f_y\delta}{D^2}, \frac{2f_y}{D} \right)^T \quad (5)$$

依据一次二阶矩方法,管道可靠度指标可以近似表示为:

$$\beta = \frac{\mu_z}{\sigma_z} = \frac{g(\mu_D, \mu_\delta)}{\sqrt{[\nabla g(\mu_D, \mu_\delta)]^T C \nabla g(\mu_D, \mu_\delta)}} \quad (6)$$

式中: β 为管道可靠性指标; μ_z 为应用泰勒级数展开得到的方程 Z 近似均值; σ_z 为应用泰勒级数展开得到的方程 Z 近似标准差; C 为协方差矩阵。

考虑管道外径和壁厚制造偏差的协方差矩阵可以表示为:

$$C = \begin{bmatrix} C_{DD} & C_{D\delta} \\ C_{\delta D} & C_{\delta\delta} \end{bmatrix} \quad (7)$$

外径与壁厚两者相互独立,那么式(7)可以写为:

$$C = \begin{bmatrix} \sigma_D^2 & 0 \\ 0 & \sigma_\delta^2 \end{bmatrix} \quad (8)$$

将式(8)和式(4)带入式(6),可得考虑外径和壁厚随机性的管道极限内压可靠度指标计算公式:

$$\begin{aligned} \beta = \frac{\mu_z}{\sigma_z} &= \frac{\frac{2f_y\mu_\delta}{\mu_D} - \frac{2Ff_y\delta_0}{D_0}}{\sqrt{\left(\frac{2f_y\mu_\delta}{\mu_D}\right)^2\sigma_D^2 + \left(\frac{2Ff_y}{\mu_D}\right)^2\sigma_\delta^2}} \\ &= \frac{2\mu_\delta D_0 - 2F\delta_0\mu_D}{D_0\sqrt{\frac{4\mu_\delta^2}{\mu_D^2}\sigma_D^2 + 4\sigma_\delta^2}} \end{aligned} \quad (9)$$

那么管道失效概率为:

$$P_f = \Phi(-\beta) \quad (10)$$

式中: P_f 为管道失效概率; Φ 为标准正态分布的概率分布函数。

3 制造偏差对管道失效概率的影响

为研究管道外径与壁厚的分布情况对管道可靠度的影响,以 3 根管道的统计数据为基础,取不同的管道外径和壁厚的平均值和标准差进行研究。为了去除 F 对管道可靠度的影响,并更好地体现出管道失效概率的变化,除特别说明外,在计算过程中 F 取 1.0。

3.1 外径平均值对管道失效概率的影响

选取不同的管道外径参数计算其可靠度,研究外径平均值对管道可靠度的影响。在计算过程中管道外径的标准差分别取 0.2、0.4、0.6、0.8 和 1.0,壁厚的平均值取 10.0 mm,标准差取 0.2。不同管道外径平均值对管道失效概率的影响曲线见图 4。

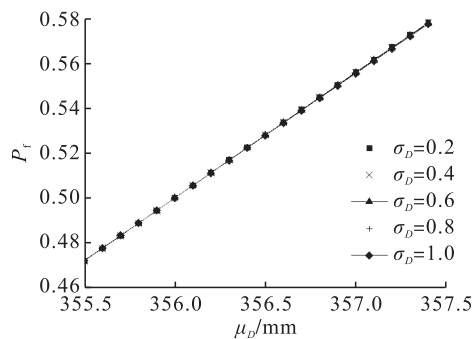


图 4 外径平均值对管道失效概率的影响曲线图

Fig. 4 Effect graph of average of outer diameter on failure probability

从图 4 可知,随着管道外径平均值的增大,管道失效概率呈线性增长,但整体影响并不大。

3.2 外径标准差对管道失效概率的影响

通过选取不同的外径标准差计算管道可靠度,研究外径标准差对管道可靠度的影响。在计算过程中管道

外径平均值分别为 356.2 mm、356.4 mm、356.6 mm、356.8 mm 和 357.0 mm,壁厚平均值取 10.0 mm,标准差取 0.2。管道外径标准差对管道失效概率的影响曲线见图 5。

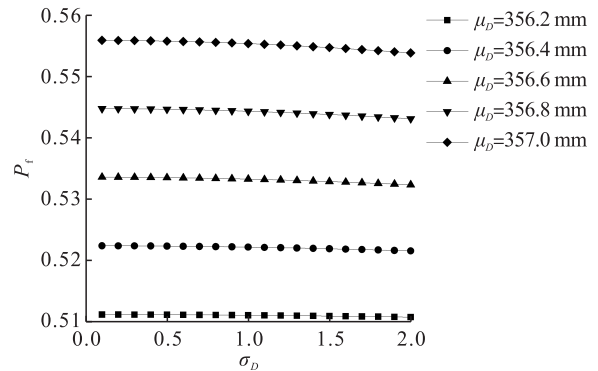


图 5 外径标准差对失效概率的影响曲线图

Fig. 5 Effect graph of standard deviation of outer diameter on failure probability

从图 5 可知,随着外径标准差的增大,管道失效概率略有减小,以外径平均值为 357.0 mm 的管道为例,当外径标准差由 0.2 变化至 2.0 时,失效概率仅从 0.556 变化至 0.554,说明管道外径标准差对管道失效概率的影响很小。

3.3 壁厚平均值对管道失效概率的影响

选取不同的管道壁厚平均值计算管道可靠度,在计算过程中管道外径平均值取 356.0 mm,标准差取 0.2,壁厚的标准差分别取 0.2、0.3、0.4、0.5 和 0.6。管道壁厚平均值对管道失效概率的影响曲线见图 6。

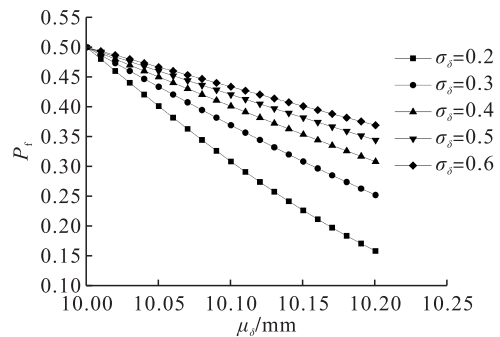


图 6 壁厚的平均值对管道失效概率的影响曲线图

Fig. 6 Effect graph of average of wall thickness on failure probability

从图 6 可知,随着壁厚平均值的增大,管道失效概率迅速下降。且壁厚平均值对管道失效概率的影响与壁厚标准差有关,壁厚标准差越小,管道失效概率受到壁厚平均值的影响越大。

3.4 壁厚标准差对管道失效概率的影响

本文研究的管道取用外径为 356.0 mm,公称壁厚为 10 mm,管道壁厚与外径相比数值较小,式(9)可简化为:

$$\beta = \frac{2\mu_\delta D_0 - 2F\delta_0\mu_D}{D_0 \sqrt{\frac{4\mu_\delta^2 \sigma_D^2}{\mu_D^2} + 4\sigma_\delta^2}} \approx \frac{\mu_\delta D_0 - F\delta_0\mu_D}{D_0 \sigma_\delta}$$

$$= \frac{\mu_\delta - F\delta_0\mu_D / D_0}{\sigma_\delta} \quad (11)$$

由式(11)可知,以 $F\delta_0\mu_D / D_0$ 值为分界,壁厚标准差对管道失效概率有相反的影响趋势,当 μ_δ 大于 $F\delta_0\mu_D / D_0$ 时, σ_δ 与 β 呈负相关;当 μ_δ 小于 $F\delta_0\mu_D / D_0$ 时, σ_δ 与 β 呈正相关。当 μ_δ 等于 $F\delta_0\mu_D / D_0$ 时, P_f 为 0.5, σ_δ 与 β 不相关。

本文分别选取管道外径平均值 355.5 mm 和 356.5 mm,壁厚平均值范围为 9.95 ~ 10.05 mm 的管道进行研究。外径平均值为 355.5 mm 管道的壁厚标准差对失效概率的影响曲线见图 7,依据式(11),此时 $F\delta_0\mu_D / D_0$ 值为 9.985 mm;外径平均值为 356.5 mm 管道壁厚标准差对失效概率的影响曲线见图 8,此时 $F\delta_0\mu_D / D_0$ 值为 10.014 mm。

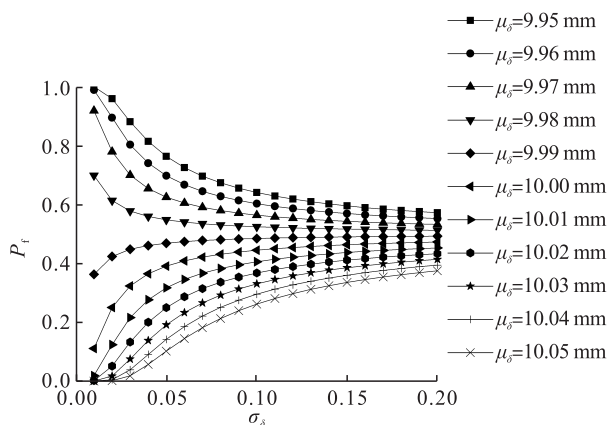


图7 外径平均值为 355.5 mm 时管道壁厚标准差对失效概率的影响曲线图

Fig.7 Effect graph of standard deviation of pipeline wall thickness on failure probability for 355.5 mm average outer diameter pipeline

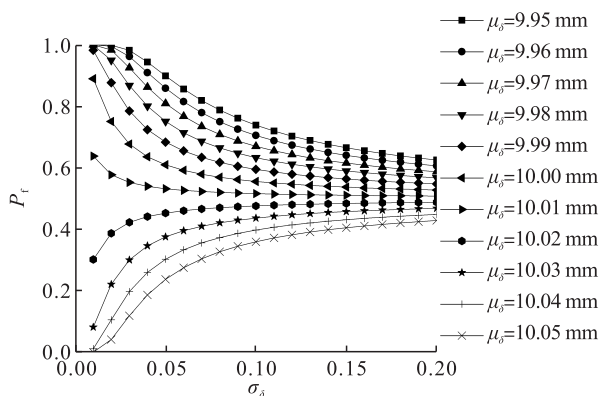


图8 外径平均值为 356.5 mm 时管道壁厚标准差对管道失效概率的影响曲线图

Fig.8 Effect graph of standard deviation of pipeline wall thickness on failure probability for 356.5 mm average outer diameter pipeline

从图 7 ~ 8 可以看出,当管道壁厚平均值小于 $F\delta_0\mu_D / D_0$,即 9.985 mm 和 10.014 mm 时,管道失效概率随着标准差的增大而减小,当管道壁厚平均值大于 $F\delta_0\mu_D / D_0$ 时,管道失效概率随着标准差的增大而增大。

由式(11)可知 F 会影响管道失效概率。为此,本文研究当 F 为 GB 50251—2015 中最大设计系数 0.8 时,管道失效概率与壁厚标准差之间的关系,见图 9。

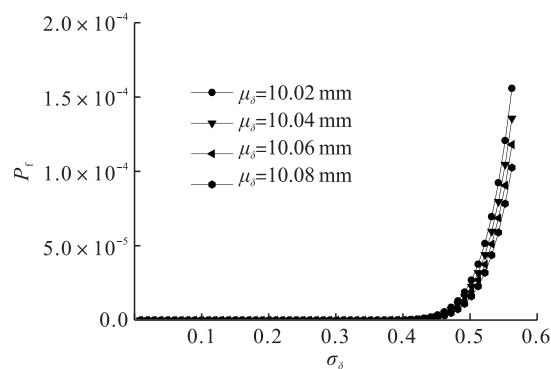


图9 F 为 0.8 时壁厚标准差对管道失效概率的影响曲线图

Fig.9 Effect graph of standard deviation of pipeline wall thickness on failure probability for 0.8 design coefficient F

从图 9 可以看出,当 F 为 0.8 时,管道失效概率相对于 F 为 1.0 时的管道失效概率明显降低。当壁厚标准差小于 0.45 时,管道壁厚标准差的变化对管道失效概率几乎没有影响,而当壁厚标准差超过 0.45 时,管道失效概率随管道壁厚标准差增大呈明显上升趋势。

4 结论

本文通过管道几何尺寸测量仪获得了管道外径与壁厚的数据,建立计算管道压力的极限状态函数,利用一次二阶矩法推导了考虑管道外径和壁厚制造偏差影响的管道可靠度计算公式,研究了管道外径和壁厚的平均值与标准差对管道可靠度的影响,并分析了各个参数的敏感程度。

1)随着管道外径平均值的增大,管道失效概率呈线性增长,但整体影响不大。管道外径标准差对管道失效概率几乎没有影响。整体而言,管道外径的制造偏差对管道可靠度影响较小。

2)壁厚平均值对管道可靠度的影响与壁厚标准差有关,壁厚标准差越小,管道可靠度受壁厚平均值的影响越大,随着壁厚标准差增大,管道可靠度受壁厚平均值的影响减小。整体而言,壁厚平均值对管道可靠度影响较大。

3)当管道壁厚平均值小于 $F\delta_0\mu_D / D_0$ 时,管道失效概率随壁厚标准差的增大而减小,当壁厚平均值大于

$F\delta_0\mu_D/D_0$ 时,管道失效概率随壁厚标准差的增大而增大。整体而言,壁厚标准差对管道可靠度影响也较大。

4) F 取 0.8 时,当壁厚标准差小于 0.45,壁厚标准差的变化对失效概率几乎无影响,当壁厚标准差超过 0.45,管道失效概率随壁厚标准差增大呈明显上升趋势。

参考文献:

- [1] 高明野,王震,范天骁. 清洁能源天然气市场现状及分析[J]. 天然气与石油, 2015, 33(1): 36-39.
GAO Mingye, WANG Zhen, FAN Tianxiao. Present situation of domestic natural gas market and its analysis [J]. Natural Gas and Oil, 2015, 33 (1): 36-39.
- [2] 李秋扬,赵明华,张斌,等. 2020 年全球油气管道建设现状及发展趋势[J]. 油气储运, 2021, 40(12): 1330-1337.
LI Qiuyang, ZHAO Minghua, ZHANG Bin, et al. Current construction status and development trend of global oil and gas pipelines in 2020 [J]. Oil & Gas Storage and Transportation, 2021, 40 (12): 1330-1337.
- [3] 王震,孔盈皓,李梦祯. 新形势下中国天然气安全态势研究[J]. 天然气与石油, 2023, 41(1): 1-7.
WANG Zhen, KONG Yinghao, LI Mengyi. Research on the supply security of China's natural gas under the new situation [J]. Natural Gas and Oil, 2023, 41 (1): 1-7.
- [4] BP. BP statistical review of world energy June 2012 [R]. London: British Petroleum, 2012: 1-48.
- [5] 周晶,冯新,李昕. 海底管线全寿命安全运行的关键问题研究[J]. 工程力学, 2011, 28(增刊 2): 97-108.
ZHOU Jing, FENG Xin, LI Xin. Research on critical issues of life-cycle service safety for subsea pipelines [J]. Engineering Mechanics, 2011, 28 (Suppl 2): 97-108.
- [6] MUHLBAUER W K. Pipeline risk management manual [M]. Houston: Gulf Professional Publishing, 2004.
- [7] 崔凤,张双双. 海洋开发与环境风险——美国墨西哥湾溢油事件评析[J]. 中国海洋大学学报(社会科学版), 2011(5): 6-10.
CUI Feng, ZHANG Shuangshuang. Ocean exploitation and environmental risk: An analysis of the Gulf of Mexico oil spill in USA [J]. Journal of Ocean University of China (Social Sciences), 2011 (5): 6-10.
- [8] 冯连勇,孙肖阳,唐旭,等. 墨西哥湾漏油事件后美国海上油气勘探开发监管新框架[J]. 中国能源, 2012, 34(12): 5-11.
FENG Lianyong, SUN Xiaoyang, TANG Xu, et al. After the Gulf of Mexico oil spill, the new framework of offshore oil and gas exploration and development supervision in the United States [J]. Energy of China, 2012, 34 (12): 5-11.
- [9] CHEN Qian, ZUO Lili, WU Changchun, et al. Supply reliability assessment of a gas pipeline network under stochastic demands [J]. Reliability Engineering & System Safety, 2021, 209: 107482.
- [10] YU Weichao, HUANG Weihe, WEN Kai, et al. Subset simulation-based reliability analysis of the corroding natural gas pipeline [J]. Reliability Engineering & System Safety, 2021, 213: 107661.
- [11] XU L Y, CHENG Y F. Reliability and failure pressure prediction of various grades of pipeline steel in the presence of corrosion defects and pre-strain [J]. International Journal of Pressure Vessels and Piping, 2012, 89: 75-84.
- [12] 巴振宁,王鸣铄,梁建文,等. 改进的一次二阶矩计算埋地管道失效概率方法及其应用[J]. 安全与环境学报, 2021, 21(6): 2371-2377.
BA Zhenning, WANG Mingshuo, LIANG Jianwen, et al. Improved method for calculating failure probability of buried pipeline based on first order second moment and its application [J]. Journal of Safety and Environment, 2021, 21 (6): 2371-2377.
- [13] 刘宏业,杜培恩. 天然气管道可靠性设计方法概述[J]. 齐鲁工业大学学报, 2020, 34(4): 49-54.
LIU Hongye, DU Peien. Reliability design method of natural gas pipeline [J]. Journal of Qilu University of Technology, 2020, 34 (4): 49-54.
- [14] 柳春光,冯晓波. 连续埋地管线沉陷情况下可靠度分析[J]. 大连理工大学学报, 2011, 51(4): 581-586.
LIU Chunguang, FENG Xiaobo. Reliability analysis of continuously buried pipeline subjected to settlement [J]. Journal of Dalian University of Technology, 2011, 51 (4): 581-586.
- [15] 白路遥,施宁,李亮亮,等. 基于蒙特卡洛法的埋地悬空管道结构可靠度分析[J]. 西安石油大学学报(自然科学版), 2016, 31(5): 48-52.
BAI Luyao, SHI Ning, LI Liangliang, et al. Structure reliability analysis of buried suspended pipeline based on Monte-Carlo method [J]. Journal of Xi'an Shiyou University (Natural Science Edition), 2016, 31 (5): 48-52.
- [16] 韩文海,周晶. 腐蚀海底管道可靠性分析[J]. 石油学报, 2015, 36(4): 516-520.
HAN Wenhai, ZHOU Jing. Reliability analysis of corroded subsea pipeline [J]. Acta Petrolei Sinica, 2015, 36 (4): 516-520.
- [17] 何蕾,李在蓉,李京,等. 基于 BP 神经网络与蒙特卡罗法的储气库单元可靠性评价[J]. 油气储运, 2018, 37(10): 1104-1113.
HE Lei, LI Zairong, LI Jing, et al. Reliability assessment of underground gas storage units based on BP neural network and Monte Carlo simulation [J]. Oil & Gas Storage and

- Transportation, 2018, 37 (10): 1104-1113.
- [18] 王秋妍, 王立航, 刘 伟. 随机有限元法在海底管道可靠度中的应用[J]. 油气田地面工程, 2017, 36(8): 39-42.
- WANG Qiuyan, WANG Lihang, LIU Wei. Application of the stochastic finite element method in submarine pipeline reliability [J]. Oil-Gasfield Surface Engineering, 2017, 36 (8): 39-42.
- [19] 王艺斐, 苏 春, 谢明江. 基于有限元仿真和可靠性理论的腐蚀管道剩余寿命评估[J]. 东南大学学报(英文版), 2022, 38(1): 70-76.
- WANG Yifei, SU Chun, XIE Mingjiang. Evaluation of remaining useful life for corroded pipeline with finite element simulation and reliability theory [J]. Journal of Southeast University (English Edition), 2022, 38 (1): 70-76.
- [20] 王立航, 孙萍萍, 吴志遥, 等. 基于可靠性的天然气管道设计系数研究[J]. 天然气与石油, 2016, 34(3): 11-14.
- WANG Lihang, SUN Pingping, WU Zhiyao, et al. Study on design coefficient of gas pipeline based on reliability [J]. Natural Gas and Oil, 2016, 34 (3): 11-14.
- [21] 张振永, 周亚薇, 张金源. 国内天然气管道强度设计系数的评估研究[J]. 天然气工业, 2017, 37(4): 116-122.
- ZHANG Zhenyong, ZHOU Yawei, ZHANG Jinyuan. Evaluation on strength design coefficients of domestic natural gas pipelines [J]. Natural Gas Industry, 2017, 37 (4): 116-122.
- [22] 贾邦龙. 基于可靠性理论的管道壁厚设计[J]. 石油工业技术监督, 2019, 35(7): 8-12.
- JIA Banglong. Design of pipeline wall thickness based on reliability theory [J]. Technology Supervision in Petroleum Industry, 2019, 35 (7): 8-12.
- [23] 刘庆刚, 于新奇, 彭培英. 均匀腐蚀下管道可靠度及参数敏感度研究[J]. 河北科技大学学报, 2012, 33(1): 40-43.
- LIU Qinggang, YU Xinqi, PENG Peiying. Reliability of pipeline under uniform corrosion conditions and the sensitivity of the influence factors [J]. Journal of Hebei University of Science and Technology, 2012, 33 (1): 40-43.
- [24] 王慧平, 李 昕, 周 晶. 初始几何缺陷对管道极限承载力影响研究[J]. 海洋工程, 2014, 32(5): 50-56.
- WANG Huiping, LI Xin, ZHOU Jing. Effects of initial imperfections on pipeline capacities [J]. The Ocean Engineering, 2014, 32 (5): 50-56.
- [25] DOREY A B, MURRAY D W, CHENG J J R. Initial imperfection models for segments of line pipe [J]. Journal of Offshore Mechanics and Arctic Engineering, 2006, 128 (4): 322-329.
- [26] 王慧平. 联合荷载作用下海底管道的弯曲破坏特性研究[D]. 大连: 大连理工大学, 2016.
- WANG Huiping. Study on the bending failure characteristics of submarine pipeline under combined loadings [D]. Dalian: Dalian University of Technology, 2016.
- [27] 李 昕, 高 杰, 周 晶. 一种管道几何尺寸的测量机: 103453823A [P]. 2016-06-22.
- LI Xin, GAO Jie, ZHOU Jing. A measuring instrument for pipeline geometry [P]. 2016-06-22.

我国首个氢能全产业链标准体系建设指南印发

2023 年 8 月 8 日, 国家标准委、国家发改委、工业和信息化部、生态环境部、应急管理部和国家能源局六部门联合印发《氢能产业标准体系建设指南(2023 版)》(简称《指南》)。这是国家层面首个氢能全产业链标准体系建设指南, 旨在加快建立氢能制、储、输、用标准体系, 引领氢能产业发展。

《指南》指出, 到 2025 年, 基本建立支撑氢能制、储、输、用全链条发展的标准体系, 制修订 30 项以上氢能国家标准和行业标准。重点加快制修订氢品质检测、氢安全、氢能管道、加氢站、加注协议、燃料电池等方面的标准, 打通氢能产业链上下游关键环节。

《指南》明确, 氢能产业标准体系涵盖基础与安全、氢制备、氢储存和输运、氢加注、氢能应用 5 个子体系, 按照技术、设备、系统、安全、检测等进一步分解, 形成 20 个二级子体系、69 个三级子体系。

《指南》提出了加快制修订氢能全产业链关键技术标准和积极提升氢能国际标准化水平 2 个重点任务。《指南》要求, 协同推进技术创新、标准研制、产业发展, 以标准促进技术创新成果转化; 鼓励参与氢能国际标准化工作, 将我国氢能领域先进技术和应用经验转化成国际标准。

在“双碳”目标下, 中国石油坚持系统发展氢能制、储、输、用产业链, 加速建设氢能研发和供应体系, 强化氢能供应保障。截至 2023 年 7 月底, 中国石油累计建成加氢站 15 座、综合能源服务站 48 座。