

油气管道风险评价研究综述

Review on risk assessment of oil and gas pipelines

曹 峥 (海洋石油工程股份有限公司, 天津 300000)

Cao Zheng (Offshore Oil Engineering Co., Ltd., Tianjin 300000)

摘 要: 风险评价是一种常用的评价方法,最初是应用在金融领域,用来评价投资风险和财务风险等,后来又将其引入了其他领域,比如环境领域、安全领域。20 世纪 90 年代初肯特将风险评价引入油气管道中,本文分析总结了目前国内外常用的油气管道风险评价方法,简要概述了现阶段油气管道风险评价的研究进展,并对未来的研究方向进行了展望。

关键词: 油气管道; 风险评价; 研究综述

Abstract: risk evaluation is a common evaluation method. It was first applied in the financial field to evaluate investment risk and financial risk, and later introduced into other fields, such as environmental field and security field. In the early 1990s, Kent introduced risk assessment into oil and gas pipelines. This paper analyzes and summarizes the commonly used risk assessment methods of oil and gas pipelines at home and abroad, briefly summarizes the research progress of oil and gas pipeline risk assessment at this stage, and looks forward to the future research direction.

Key words: oil and gas pipeline; Risk assessment; Research overview

0 引言

油气管道的风险评价主要包括几个方面: 风险辨识, 需要对影响管道失效的风险因素进行识别; 风险值计算, 需要计算出每个风险因素相对应的风险值, 按照风险值进行排序, 并与风险可接受准则进行比较, 辨识出风险较高的因素; 风险缓解措施, 对于存在较高风险的因素, 需要深挖风险产生的原因, 并采取相应措施缓解风险, 降低管道发生事故的风险。

1 常用的油气管道风险评价方法

通常我们将管道失效风险定义为失效概率和失效后果的乘积, 根据计算方法的不同, 我们可以将风险评价分为定性、半定量和定量三种方法。对于定性的方法, 通常依据评价者的经验进行判断, 主观性较强, 可靠性较低, 但操作简单易行, 适合对比较简单的工况条件进行评价。半定量评价方法将评价结果进行量化, 便于识别绝对风险的大小, 提高的风险评价的准确性, 但仍然存在一定主观因素的影响, 实践中效果并不是很理想。定量风险评价, 在半定量的基础上进行了改进, 采用更加合理的分析方法, 或者利用数学模型对评价结果进行修正, 大幅度提高了评价方法的准确性, 常用的半定量风险评价方法有 FMEA、HAZOP、FTA、ETA 等。

2 国外研究现状

美国是最早将风险评价方法引入油气管道安全领域的国家, 上世纪 70 年代开始, 美国就展开了相关研究, 在 90 年代初期, 已经采用风险评价方法指导油气管道的安全管理工作。

1985 年, 美国 Battelle Columbus 研究院发表了《风险调研指南》, 这是油气管道风险评价领域的首个指导性文件, 在该指南中, 提出了采用专家打分的方法对油气管道进行风险评价, 但是对于影响管道的风险因素以及打分的权重值仍不是很明确。

W.Kent.Muhlbauer 在 1992 年出版了第一版的《管道风险管理手册》^[1], 对油气管道风险的打分原则和打分标准进行了进一步的优化, 增强了管道风险评价的适用性, 该方法被称为肯特法。时至今日, 肯特法广泛仍应用于油气管道的风险评价中, 虽然可操作性比较强, 但它的缺点也非常突出, 打分专家的水平对最终的评价结果影响很大, 导致结果可靠性比较低。

2007 年, Kent 发布了第五版的《管道风险管理手册》, 提出了新的油气管道风险评价模型, 新模型是基于管道失效数据库, 通过对数据库的挖掘, 并采用新的算法, 提高评价结果的准确性, 能够更真实的反映管道的风险。第五版“肯特法”也是目前我们油气

管道风险评价方法的发展方向,越来越多的科研人员采用更加先进的算法对评价模型进行了修正。

目前最常采用的方法就是模糊理论,模糊理论将不确定性问题进行量化,在处理不确定性问题上具有一定的优势。

Kenji Ikejima^[2]提出通过 H 指标对风险进行评价, H 指标是通过模糊数学理论进行定量计算的,并采用了管道泄漏的数据对该方法进行了验证。

Adam S. Markowski 等^[3]人将模糊理论应用于 LOAP 方法中,提出了新的模糊 LOAP 评价方法,并与传统 LOAP 方法进行了比较,结果显示新的方法提高了评价方法的准确性。

Anjuman 等^[4]人提出了模糊 Bow-Tie 模型,在该方法中基本事件的失效概率是通过模糊的方法进行计算的,并充分利用了 Bow-Tie 模型,计算得到了多因素影响下的管道风险,同时通过比较,还确定了导致事故放生的主要风险,并给出了相应的风险缓解措施。

Atsushi Aoyama^[5]对基于模糊理论的管道风险评价方法进行了总结,提出了油气管道模糊评价方法的评价流程,对一些评价中可能出现的问题进行了解释,并给出了解决方法。

油气管道根据周围环境、运行工况、管道介质的不同,可以分为不同的管道类型,不同的管道类型可以采取不同的评价方法。

Young-Do Jo^[6],提出了天然气长输管道风险评价方法,由于天然气长输管道周围环境复杂多变,需要根据环境对管道进行分段,并引入了管段致命长度的概念,通过 GIS 模型,将管道周围地理信息输入模型中,计算得到管道的累计致命长度,根据累计致命长度的大小确定管道的风险,并将该方法应用于 EGIG 管道数据库,验证了方法的可靠性。

M.Dziubin ski 等^[7]对波兰长输管道历史失效数据进行了挖掘,得到了影响管道失效的主要因素,并将 HAZOP 方法与一致性测试方法相结合,提出了针对与长输管道的风险评价方法。

M. Jabbari Gharabagh 等^[8]采用未确知测度方法对给排水管道的失效概率进行了修正,提出了给排水管道失效概率计算模型,并对失效后果进行了量化,该方法已应用于 30 条 Mahshahr 化工公司的给排水管道评价中,评价结果良好。

Alireda Aljaroudi 等^[9]针对海上原油泄漏的特点,量化了泄漏后失效后果的模型,并建立了海上泄漏风

险评价指标体系,其中将失效后果定义为生态破坏、污染治理和经济损失 3 部分,最后通过货币值对管道风险进行量化。

Chiara Vianello 等^[10]对二氧化碳捕集管道风险进行了研究,提出了二氧化碳管道泄漏的失效后果评价模型。

3 国内研究现状

随着我国管道逐步进入“老龄化”时期,管道安全问题也日益严峻,针对目前的现状,国内管道工作者开展了一系列的课题研究,并逐步制定了一些符合我国国情的管道风险评价管理方法。我国于 2020 年颁布了新的《油气输送管道风险评价导则》^[11](SY/T 6859-2020),规定了油气管道风险评价的基本步骤,建立了适用于我国国情的评价指标体系和风险评价准则,与 Kent 法相比,更加适应我国国情,可操作性更强。

故障树 FTA 模型,灰色综合评价、Bow-Tie 模型等新的算法越来越多的应用到了管道风险评价中,西南石油大学陈玉超等^[12]人,将层次分析法与 FTA 模型结合,对造成管道失效的风险因素进行排序,提出我国油气管道失效的主要原因是第三方破坏。

张杰^[13]对风险因素进行主成分分析,并通过聚类的方法将失效因素划分为三类,降低了管道失效的影响因素,从而减少风险评价的误差。

郭岩宝等^[14]人将层次分析法、Bow-Tie 模型和灰色综合评价方法相结合,首先利用 Bow-Tie 模型得到管道失效的风险因素,然后利用层次分析法简化风险评价指标,将风险评价指标分为了三级,最后利用灰色综合评价方法得到管道的风险值,完成对管道的风险评价。该方法操作逻辑清晰,在提高操作性的同时,也增强了评价结果的可靠性。

目前我国已经逐步建立了管道失效数据库,如何更好的利用这些数据资源,如何采用更合理的算法对数据库进行挖掘,就成为了管道研究者的当务之急。冯善庆^[15]管道大数据的概念,风险评价由外因评价向内因评价过度是未来的发展方向,在这一规程中,管道数据库就变的越来越重要。

Z.Y. Han^[16]对城市天然气管道事故数据库进行了深度挖掘,并结合结构可靠性理论得到了管道的失效概率计算模型,并对两个典型城市管网进行了分析评价,与历史数据做对比,验证了方法的可靠性。

Wei Liang^[16]等人对我国管道目前面临的重大风险因素——第三方破坏进行了研究,并采用 SOM 算法

将第三方破坏的管道失效分为三类模式：认为蓄意破坏、监管措施不到位和施工质量不合格，分类后对于指导管道的检维修具有一定的实践意义。

Han Z. Y 等^[17]人采用贝叶斯模型海底管道进行风险评价，建立了海底管道贝叶斯评价指标体系，利用管道周围海域的环境已知信息，对管道风险的未知信息进行推断，并结合利用解释结构模型（ISM），进一步提高了风险评价的准确性。张华兵建立了油气管道失效概率修正模型，通过对管道失效数据库的挖掘，得到管道基础失效概率和修正因子取值范围，并利用 BP 神经网络计算某一工况下对应的修正因子，进而得到管道的失效概率。

4 研究展望

目前模糊综合评价、FTA 分析法、贝叶斯模型、灰色综合评价法等算法已经应用在油气管道风险评价中，评价结果的准确性也得到了一定的提升，但仍有以下两个方面存在一定的不足：

第一，现阶段的风险评价方法都是针对长输管道建立的，对于油田集输管道、海底管道、工业管道的风险评价方法还没有建立；第二，目前的风险评价方法仍然属于半定量评价方法，主观因素影响较大，如何更好的利用管道失效数据库和更先进的算法降低主观因素的影响，是未来管道风险评价需要解决的难题。

参考文献：

- [1] W. Kent Muhlbauser. Pipeline Risk Management Manual[M]. Houston: Houston Publishing Company, 1992:10-15.
- [2] Ikejima K., Frangopol D. M. . Risk assessment for gas pipelines using fuzzy sets[J]. Civil Engineering Systems, 1987, 4(3):6.
- [3] Markowski A. S., Mannan M. S. . Fuzzy logic for piping risk assessment (pfLOPA)[J]. Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 2009, 22(6):921-927.
- [4] Shahriar A., Sadiq R., Tesfamariam S. . Risk analysis for oil & gas pipelines: A sustainability assessment approach using fuzzy based bow-tie analysis[J]. Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 2012, 25(3):505-523.
- [5] Jamshidi A., Yazdani-Chamzini A., Yakhchali S. H., et al. Developing a new fuzzy inference system for pipeline risk assessment[J]. Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 2013, 26(1):197-208.

- [6] Guzman Urbina A., Aoyama A. . Pipeline risk assessment using artificial 124 intelligence: A case from the colombian oil network[J]. Process Safety Progress, 2017,32(2):110-122.
- [7] Jo Y. D., Ahn B. J. . A method of quantitative risk assessment for transmission pipeline carrying natural gas[J]. Journal of Hazardous Materials, Aspects of risk analysis associated with major failures of fuel pipelines[J]. Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 2006, 19(5):399-408.
- [9] Gharabagh M. J., Asilian H., Mortasavi S. B., et al. Comprehensive risk assessment and management of petrochemical feed and product transportation pipelines[J]. Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 2009, 22(4):533-539.
- [10] Alireda A., Faisal K. . Risk assessment of offshore crude oil pipeline failure[J]. Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 2015, 37:101-109.
- [11] SYT 6859-2012. 油气输送管道风险评价导则 [S]. 国家能源局, 2012.
- [12] 陈玉超, 蒋宏业, 吴瑶晗, 等. 基于 Bow-Tie 模型的城镇输油管道风险评价方法研究 [J]. 中国安全生产科学技术, 2016, 12(4):66-72.
- [13] 张杰. 基于主成分 - 聚类分析法的管道风险评价方法 [J]. 油气储运, 2014, 33(2):72-81.
- [14] 郭岩宝, 傅晓娟, 孟涛, 等. 基于变权—灰色理论的城镇燃气 PE 管道风险评价 [J]. 压力容器, 2015(3):59-65.
- [15] 冯庆善. 基于大数据条件下的管道风险评估方法思考 [J]. 油气储运, 2014, 33(5):457-461.
- [16] Han Z. Y., Weng W. G. . Comparison study on qualitative and quantitative risk assessment methods for urban natural gas pipeline network[J]. Journal of Hazardous Materials, 2011, 189(1-2):509-518.
- [17] Liang W., Hu J., Zhang L., et al. Assessing and classifying risk of pipeline third-party interference based on fault tree and SOM[J]. Engineering Applications of Artificial Intelligence, 2012, 25(3):594-608.

作者简介：

曹峥（1993-），男，汉族，内蒙古包头人，助理工程师，硕士，海洋石油工程股份有限公司，石油化工。