

定量风险评价技术在管道城市穿越段的应用

项小强 冯文兴 李保吉 沈煜欣 冯庆善 闫啸

(中国石油管道公司 河北廊坊 065000)

摘要 介绍了管道高后果区定量风险评价的方法和风险可接收标准。将定量风险评价技术在我国某长输原油管道城市穿越段的应用表明,定量风险评价方法适用于人口密集的管道高后果区,能对管道高后果区的风险管理、决策提供重要的参考。

关键词 定量风险评价 管道 高后果区 风险可接受指标

Application of Quantitative Risk Assessment in High Consequence Area of Pipeline

XIANG Xiaoqiang FENG Wenxing LI Baoji SHENG Yixing FENG Qingshan YAN Xiao

(PetroChina Pipeline Company Langfang, Hebei 065000)

Abstract In this article, the quantitative risk assessment (QRA) and acceptable risk criteria of high consequence area of crude oil pipeline are studied according to the QRA method of oil and gas pipeline station. An application case of QRA on a section of high consequence area crossing city in southeast China is given. In the case, the individual risk and social risk are calculated by QRA method. As the risks of the pipeline section exceeds the acceptable risk criteria, the risk controlling solution is made according to the assessment. It is believed that QRA can be applicable in the safety assessment on high consequence area of crude oil pipeline and it can give further support for decision-making of risk management and layout of high consequence area.

Key Words quantitative risk assessment pipeline high consequence area acceptable risk criteria.

0 引言

定量风险评价方法能够比较精确地估算工业活动中某些特定风险的概率,并对泄漏、燃烧、爆炸等低概率事件后果作定量的评价计算,进而比较事故风险可能发生的主要条件和各种方式,由此帮助决策者控制资源配置和预防工作的方向。定量风险评价方法最早在1974年被Rasmussen教授等成功地用于美国核电站轻水反应堆的安全性评价^[1],以后在石油、化学工业等获得广泛应用。荷兰、英国等国家已立法要求对一些重大危险源进行定量风险评价,并发布了风险可接受标准^[2-3]。近年来,定量风险评价已在国内逐步获得应用,包括化工设施、输油气站场等^[4-5]。

国内一些长输油气管道,原来经过的人口稀疏地段随着国家经济的迅速发展,有的已经发展成为人口密集的城镇甚至城市发达地区,在管道沿线形成了很多严重的高后果区^[6]。这些高后果区管段一旦发生泄漏,产生的火灾、爆炸事故将对沿线群众的生命财产安全造成巨大的危害。特别是穿越城市的管段,其风险不小于传统上就为人们重视的化工设施和油气站场。这类高后果区管段已经成为管道企业风险管理和完整性管理的重点,对其进行定量风险评价,作为管理和控制的决策依据,成为管理的必需。本文将定量风险评价技术应用在原油管道穿越城区的高后果区段,探讨相关问题。

1 定量风险评价技术介绍

定量风险评价是对事故发生的频率和后果进行定量计算,将计算出的风险与设定的风险可接受标准进行比较,判

断风险是否可接受,并针对性地提出风险减缓措施。定量风险评价关心的主要风险是人员生命的损失,其结果主要表现为个人风险和社会风险。个人风险是指一个不受防护的个体连续暴露在某位置一年,由于危险物质的泄漏导致死亡的概率。个人风险一般用个人风险等值线表示。社会风险是指由于危险化学品和其他危险物质的泄漏,直接暴露于设施影响区域内的人员发生多人同时死亡的累积概率^[7-8]。

定量风险评价包括以下主要过程:

(1)危害识别。从工业装置中辨识有可能影响周边人员的危险,定义危害场景。

(2)事故概率计算。利用历史失效统计数据来统计分析确定泄漏事故发生的概率,并利用事件树确定各种危害情景发生的概率。

(3)后果计算。计算泄漏量,并通过池火、蒸发、扩散、蒸气云爆炸等模型计算泄漏事故的危害影响范围。

(4)风险计算。通过事故概率和后果,计算个人风险和社会风险。

(5)风险评价。将计算的個人风险和社会风险与风险可接受标准比较,确定风险是否可接受,并根据评价结果给出针对性的风险减缓措施。

2 高后果区风险可接受标准

风险可接受标准表示在规定时间内或者某一行为阶段可接受的总体风险等级,它为风险分析和制定减小风险的措施提供了参考依据。在定量风险评价中,一般采用最低合理可行原则(ALARP-As low as reasonably practical),它设定了风

险容许上限和下限,将风险分为3个等级。位于上限不可接受值之上的风险,不能接受;位于下限之下的风险,可以接受;在上限和下限之间的是ALARP区,应在经济、可行的前提下采取措施尽可能地降低这一区域的风险水平。

目前,荷兰、英国、澳大利亚等国家颁布了相关的可接受标准,而我国没有制定相关的标准。在管道高后果区风险评价时,可以借鉴国外的油气设施场界外的风险可接受标准和危险品运输的风险可接受标准^[8]。另外,根据管道高后果区的特点,在风险计算的方法上参照了危险品运输的评价方法,以每公里为单位,分别计算风险值。设定的高后果区的个人风险和社会风险的可接受标准见表1。

表1 油气管道高后果区社会风险可接受标准

	风险容许上限 (每年累积频率)	风险容许下限 (每年累积频率)
个人风险 (住宅区、商业区)	1×10^{-6}	1×10^{-8}
个人风险 (工业及其他区域)	1×10^{-5}	1×10^{-7}
社会风险	风险容许上限(死亡人数/每年累积频率)	风险容许下限(死亡人数/每年累积频率)
	$10/1 \times 10^{-4}$	$10/1 \times 10^{-6}$
	$100/1 \times 10^{-5}$	$100/1 \times 10^{-7}$

3 应用实例

我国某原油管道经过东北某重要城市市区,管道为20世纪70年代建设的原油干线,管径720 mm。该管道穿越城市的管段有数公里长,敷设在城市主干道的绿化带中。道路交通繁忙,两边建筑、人口密集,遍布工厂、加油站、居民区和学校等。管道沿线的建筑距离管道距离一般在50 m左右,部分地点管道距离多层的居民住宅距离仅10 m左右,为典型的高后果区。该管道运营时间较长,已进入事故高发期。经风险识别认为该管段是高风险管段,因此有必要对其进行详细的定量风险评价。

原油管道失效的后果主要是池火和蒸气云爆炸。管道失效将导致油品泄漏,如果立即点燃产生池火,在非立即点燃的情况下,泄漏的原油会产生可燃性蒸气云。产生的可燃性蒸气云浓度如果大于爆炸下限,在扩散过程中遇到点火源将被延迟点燃,发生闪火或爆炸。通过失效事件树可以得出各后果事件发生的概率^[5]。

在伤害模型方面,对人的伤害主要是池火等产生的热辐射和爆炸产生的超压。火灾的影响主要取决于是否有人暴露于火焰或特定的热辐射值。暴露于热辐射致死的概率值函数由下式给出:

$$p_r = -36.38 + 2.56 \ln(Q^{4/3} \times t)$$

式中, p_r 是相应死亡概率的概率值; Q 是热辐射值, W/m^2 ; t 是暴露时间,s。 35 kW/m^2 是建筑物着火的热辐射临界值,热辐射在 35 kW 以上,认为室内外人员将100%死亡^[1,3]。蒸气云爆炸产生的超压会产生冲击波,伴随着飞溅的碎片和建筑物的破损,这些都对人员安全有重大的危害。超压30 kPa的范围中室内外人员死亡率为100%;超压10 kPa范围

中室外人员死亡率为0,室内人员死亡率2.5%^[3,9]。

定量风险评价中建立事故情景模型,输入当地气象条件,以及通过实地调查走访进行统计得到管道沿线的人口分布数据等。通过计算得到该管段发生事故的影响范围和个人风险等值线、社会风险曲线。表2是管道失效引发的池火、 35 kW/m^2 热辐射和超压的范围。可以看到,管道发生事故,最严重的情况下其影响范围将达到数百米。

表2 管道失效引发的池火、 35 kW/m^2 热辐射和超压的范围

管道失效情景	液池半径/m	35 kW/m^2 热辐射半径/m	超压30 kPa半径/m	超压10 kPa半径/m
50 mm孔径泄漏	13.5	19.9	0	9.2
破裂	155	254	0	160

图1是该管段的个人风险等值线,该管段沿线不存在 10^{-4} 风险曲线;管道沿线存在宽40 m的 10^{-5} 风险等值线,这段区间 10^{-5} 风险等值线位于城市主干道附近。由于部分位置处管道距离沿街建筑的距离不到20 m,因此该段的 10^{-5} 风险等值线包括了沿街的居民建筑,这与设定的风险可接受标准不符。

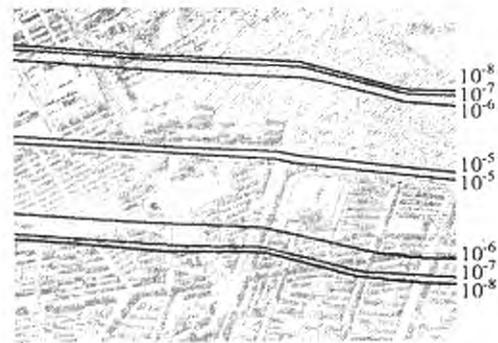


图1 某管道城市高后果区段的个人风险等值线

油气管道的社会风险以每公里长度计。图2是穿越市区的管段的社会风险F-N曲线。图2中两条直线分别代表最低合理可行(ALARP)原则下的风险可接受上限和下限。图中的曲线分别代表该高后果区每公里段的社会风险。可以看出,如按照先前设定的标准,则该管段多处的社会风险已处于不可接受的范围。

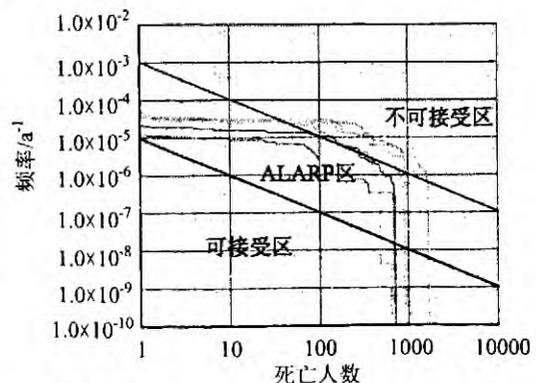


图2 某管道城市穿越段的社会风险曲线(F-N曲线)

综合以上结果,该管道城市高后果区段的个人风险和社会风险都超过风险可接受标准。管道企业必须加强风险管
(下转第29页)

问题互相通报,未经有关职能部门审查不得办理营业执照,切实把职业病危害控制在萌芽状态。

4.5 整合职业健康监管技术资源

职业健康工作技术性强,时效性高,需要强有力的技术支撑,应根据实际情况,整合技术资源,加大技术支撑体系建设的力度,整合科研院所、行业协会、职业健康检测站(所)技术力量、技术装备,逐步形成较为完整的技术支撑体系。

4.6 加大资金投入

建立财政、工伤保险基金、企业、社会多种渠道的投入机制,用于职业病防治机构、专业队伍建设和相关科学技术发展。督促和引导企业加大对职业病防治工作的投入,保证各项职业防护措施措施的落实。采取有效政策措施鼓励和引导社会资源参与职业病防治,形成企业、政府和社会等多渠道投入职业病防治的良好局面。

4.7 大力开展宣教培训工作

充分利用新闻媒体,通过电视、广播、报刊、网站等多种媒介,采取专题报道、培训教育、新闻发布、知识竞赛、座谈

会、发布公益广告、散发宣传材料等多种形式开展全民宣传教育活动,以典型案例阐述职业病危害的严重性、可预防性,使《职业病防治法》逐步深入人心,使用人单位和劳动者知法、懂法,提高用人单位自觉守法和劳动者维护自身合法权益的意识,引起社会的广泛关注和重视,为《职业病防治法》的贯彻实施创造良好的社会环境。同时,还要做好企业负责人、职业健康监管人员、劳动者职业健康相关方面的培训教育工作。

4.8 提高职业病鉴定率

充分利用现有医疗卫生资源,尽快完善覆盖城乡的职业病防治网络,规范职业病的诊断;从法律上明确企业的责任,使企业自觉落实职业健康管理的主体责任;监管部门要加大执法检查力度,加强职业健康监管,督促企业履行职能。

参考文献

[1] 汤淳.“求索”与“融通”——对职业病防治现状的思考[J].现代职业安全,2010(6):106.

(收稿日期:2011-05-30)

(上接第 26 页)

理,采取有效的风险减缓措施。根据对计算参数的敏感性分析,泄漏发生概率和泄漏时间是最显著影响风险大小的参数。该条管道投产时间较长,由于当初的施工工艺限制和管道多年的老化,存在各类管道缺陷。另外,管道自动化程度较低,从发生事故到完全关断时间较长。风险控制措施主要围绕这两个问题提出:

(1)对该段管道定期进行内外检测并及时修复缺陷,降低管道发生失效的可能性。

(2)加强安全保护宣传,增加管道警示牌和标示桩。

(3)对管道周围的施工安排专人看护,安装安全预警系统以及及时发现管道周边未通报的开挖活动,防止第三方误施工造成的破坏。

(4)安装泄漏监测装置并在管道进入高后果区两端安装自动截断阀或者远程电动控制阀门,发生事故后及时切断管道,缩短泄漏时间以降低可能的事故后果。

同时,管道企业还应与地方政府和相关部门沟通,共同制定应急预案。为彻底消除风险,建议有条件时考虑改变管道路由,参考评价结果,使管道与人口密集的建筑保持安全间距。

4 结论与建议

定量风险评价技术是一种先进的、可以将风险量化的评价技术。在原油管道城市高后果区段的应用可以看出,它可以定量给出高后果区段居民所承受的个人风险和社会风险水平,能为管理者和决策者提供明确的分析结果和建议参考,具有一定的适用性。管道高后果区已经成为管道企业管理的重点,该方法为高后果区的风险评价和管理提供了新的

选择,值得进一步研究和应用。

参考文献

[1] 中国石油化工股份有限公司青岛安全工程研究院.石化装置定量风险评估指南[M].北京:中国石化出版社,2007.

[2] Böttelberghs P H. Risk analysis and safety policy developments in the Netherlands[J]. Journal of Hazardous Material, 2000, 71(1-3):59-84.

[3] Ministerie van verkeer en waterstaat. Publication Series Dangerous Substances 2, Methods for calculation of physical effects[M]. Ministry of VROM, Netherland, 2005.

[4] 贾伟,朱建新,高增梁,等.区域定量风险评价方法及其在化工园区中的运用[J].中国安全科学学报,2009,19(5),140-146.

[5] 冯文兴,项小强,李保吉,等.定量风险评价技术在原油管道站场的应用[C].中国国际石油与天然气管道会议论文集,CIPC 2009:329-333.

[6] Shaohui Jia, Qingshan Feng, Lijian Zhou, et al. Software uses GIS data to identify high consequence areas along pipelines[J]. Pipeline & Gas Journal, 2009, 236(8):42-46.

[7] 刘铁民.低概率重大事故风险与定量风险评价[J].安全与环境学报,2004,4(2):89-91.

[8] 高建明,王喜奎,曾明荣.个人风险与社会风险可接受标准研究进展及启示[J].中国安全生产科学技术,2007,3(3):29-34.

[9] Ministerie van verkeer en waterstaat. Publication Series Dangerous Substances 1, Methods for determine possible damage[M]. Ministry of VROM, Netherland, 2005.

作者简介 项小强,1981年生,工程师,博士研究生,2008年毕业于中国科学技术大学凝聚态物理专业,现在中国石油管道研究中心从事油气管道完整性管理与评价研究工作。

(收稿日期:2010-12-02)