

定量风险评价在成品油管道站场的应用*

冯文兴** 税碧垣 李保吉 郑洪龙 冯庆善
(中国石油管道研究中心)

闫 啸 崔莹莹 蔡 宇
(中国石油管道公司) (上海伊世特有限公司)

冯文兴 税碧垣等:定量风险评价在成品油管道站场的应用,油气储运,2009,28(10) 10~13。

摘 要 基于定量风险评价方法的基本原理、评价指标和模型,介绍了定量风险评价的基本过程。分析讨论了定量风险评价在成品油管道站场应用过程中的几个关键问题,包括危害识别、失效概率估算、后果模拟及风险可接受指标。在某成品油管道站场进行定量风险评价的结果表明,定量风险评价方法对油气管道站场土地使用安全规划和风险管理具有重要的应用价值,但仍存在诸多局限性,有待于逐步改善。

主题词 成品油管道 站场 定量风险评价 风险可接受指标 失效概率

管道站场实施定量风险评价和管理具有重大意义。

一、前 言

定量风险评价在风险管理、应急救援、土地使用规划等方面都具有重要的实用价值。发达国家化学工业自 20 世纪 60 年代引入风险评价,其中道化学指数法在石化工业安全规划和管理中发挥了积极的作用^[1]。1974 年,定量风险评价方法由于被 Rasmussen 教授等成功地用于美国商用核电站的安全性评价而得到广泛应用。1976 年英国政府对主要从事石油产品储存、运输、生产的 Canvey 岛工业设施进行的评价,以及 1979 年荷兰政府对 Rijnmond 工业区进行的评价,都将定量风险评价方法应用到化工区的整体风险评估和安全规划中^[2,3]。国内在定量风险评价方面的研究较少,应用于油气管道站场更鲜见报道,与发达国家存在较大差距^[4]。

近年来,国内外石化企业火灾、爆炸和有毒气体泄漏等重大事故发生频率增加,使得油气管道运营企业对油气管道站场的风险管理更加重视。随着国家能源战略的调整,油气管道运输进入大规模发展的新时代,其中成品油管道成为发展的重点。截至 2007 年底,中国石油已拥有成品油管道 4 070 km,并计划从 2008 年至 2015 年兴建 9 400 km 成品油管道,从而形成跨区域成品油管网。因此,对成品油

二、定量风险评价的基本过程

定量风险评价是对设施或作业活动中发生事故的概率和后果进行分析和定量计算,将计算出的风险值与风险管理标准相比较,判断风险是否可接受,并提出控制风险的措施建议,其过程见图 1。定量风险评价主要回答四个问题,即评价对象可能会出现什么问题,意外事件发生的概率有多大,后果会怎么样,该意外事件的风险是否可以接受。

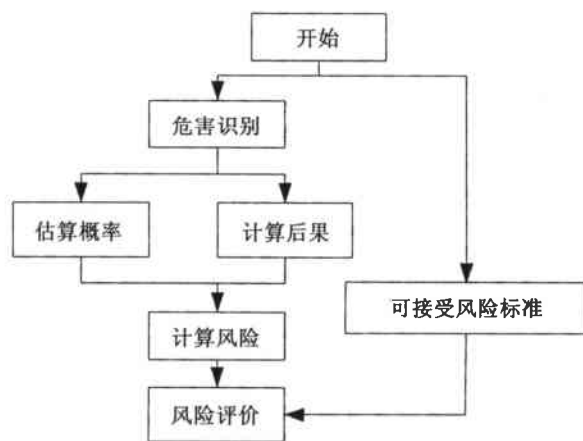


图 1 定量风险评价的基本过程

* 中国石油管道公司科学研究与技术开发项目(20080105)。

** 065000,河北省廊坊市金光道 51 号;电话:(0316)2174120。

1、评价指标

在工业企业的风险评价过程中,通常考虑三个方面的风险,即人员风险、环境风险、财产风险。定量风险评价的核心是评价相应区域内的人员风险,又包括个人风险和社会风险。个人风险是假定一个人在没有采取保护措施的情况下死于意外事故的概率,表现形式是个人风险等值线。社会风险是描述事故发生的概率与事故造成人员死亡数量的相互关系,它与相应区域内的人口分布密切相关,表现形式是社会风险曲线,即 F-N 曲线。

2、评价模型

针对评价区域内的任一危险源,其在评价区域内空间位置坐标为 (x, y) 处产生的个人风险可以由式(1)计算^[6]:

$$R(x, y) = \sum_{n=1}^N F_n U_n(x, y) \quad (1)$$

式中 $R(x, y)$ ——特定危险源在位置 (x, y) 处产生的个人风险;

F_n ——第 n 个事故场景发生的概率;

$U_n(x, y)$ ——第 n 个事故场景在位置 (x, y) 处引起个体死亡的概率;

N ——事故场景的个数。

由事件树分析可以得到 F_n 的值;通过事故后果模拟可以计算出事故场景 n 在位置 (x, y) 处产生的火灾热辐射通量、爆炸超压值或毒物浓度数值,然后通过伤害模型转化为引起个体死亡的概率 $U_n(x, y)$ 。用于事故后果模拟的模型包括泄漏模型、扩散模型、热辐射模型、火灾模型、爆炸模型等。伤害模型则以毒物浓度、热辐射、超压等对人(某个比例的死亡率或者受伤率)和建筑物的伤害为标准。

所有危险源在点 (x, y) 处产生的总个人风险,可以通过网格划分的方法获得。计算评价区域内每个危险源对每个网格产生的个人风险,叠加计算就得到每个网格的总个人风险值。将个人风险值相等的各点连接起来便得到不同水平的个人风险等值线。将个人风险值计算结果与人口数字相乘得到死亡人数的预测值,通过对不同死亡人数与累积概率作图得到社会风险曲线。

三、应用中的几个关键问题

1、危害识别

在成品油管道站场应用定量风险评价技术,首

先应根据站场区域布局和生产特点有针对性地进行危害识别,即确定评价对象。成品油管道站场的基本任务是向油流提供能量,或者进行收油和转油操作,其生产作业区主要包括泵房、加热系统、油罐区、阀组间、清管器收发装置、计量间、站控室、油品预处理设施;辅助作业区包括供电系统、通信系统、供热系统等^[6]。成品油站场设备较多,但并不是每台设备都考虑在定量风险计算之中,应重点识别那些对整个站场安全影响较大、危险性较高的设备设施。根据成品油站场生产的特点,一般将储罐、输油管道、热交换器、泵、收发球系统、计量器、运油罐车等设施作为主要危险源的考虑对象,具体视实际生产和工艺情况确定。危害识别一般由相关专家、现场工作人员等共同完成。

2、失效概率估算

成品油管道站场装置的失效主要表现为泄漏,泄漏情况可以分为小孔泄漏、大孔泄漏、破裂等。在定量风险评价中,装置的失效概率主要依赖于对历史数据的统计获得。欧美发达国家或者大型石化企业等已经收集了几十年的数据,例如英国健康、安全与环境委员会(HSE)、荷兰环境部(VROM)等都发布了统计的失效概率数据。由于我国尚未建立失效数据库,因此可以参考使用国外的统计数据,并根据设备情况和管理水平的不同加以修正,但由于国内外情况差别较大,这种修正应该谨慎。在荷兰的定量风险评价指南中,引入了设备系数(F_E)和管理系数(F_M)对原始失效概率(F_o)进行修正,以修正后的值评估对象的失效概率(F_m)^[7]:

$$F_m = F_o \times F_E \times F_M \quad (2)$$

3、后果伤害模型

定量风险评价中的后果模型很多,我国成品油站场储运的主要是汽油和柴油,泄漏后,由于液池上不易形成蒸汽云爆炸和闪火的条件,后果主要是池火和喷射火。根据荷兰 VROM 的规定,液体易燃易爆物泄漏后,在界面上扩散,遇点火源会发生池火,因此,应将池火视为主要的后果灾害形式^[7]。

在伤害模型方面,应主要考虑池火热辐射对人和建筑物的伤害标准。对人的伤害主要是人的致死率、致伤率等,对建筑物的伤害主要是引燃建筑物的热辐射当量临界值(热辐射当量为 35 kW/m^2)^[2,7]。目前,国内尚无统一标准,但可以参考国际上的有关标准或经验,根据我国成品油管道站场管理的实际需要选择确定。

4、 风险可接受标准

国际上,常用的风险可接受标准有风险矩阵和最低合理可行原则(ALARP 原则)。在定量风险评价中,一般采用 ALARP 原则^[6],它设定了风险容许上限和下限,将风险分为三个等级,见图 2。位于上限之上的风险,不能接受;位于下限之下的风险,可以接受;中间称为 ALARP 区域,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。荷兰、丹麦、澳大利亚、新西兰、加拿大、香港等都制定了相应的标准限制。我国尚未建立相应的标准,可以借鉴国外的标准。在我国尚未明确要求的条件下,国内管道企业可以实事求是地根据自己与国外先进石化企业的差距,按照略低于国外先进石化企业的标准执行。

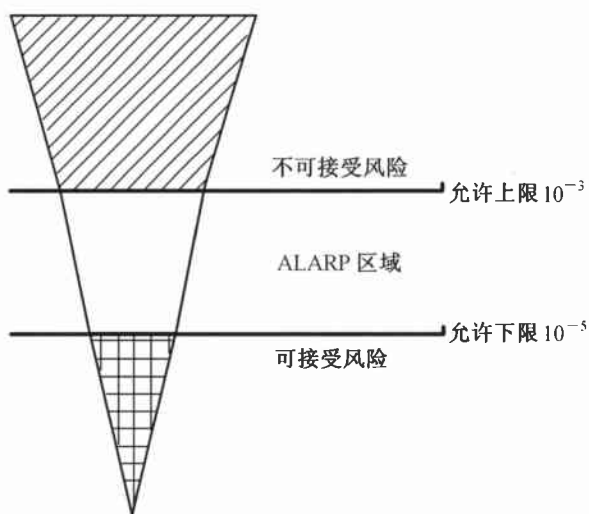


图 2 ALARP 原则划分的风险等级

四、应用实例

在中国石油管道公司两个成品油管道站场成功应用了定量风险评价方法,其中一个站场是某成品

油管道的末站,采用顺序输送工艺输送柴油和汽油。该站场承担着接收、储存、计量成品油的运营业务,主要设施有 8 个 10 000 m³ 的油罐(其中 3 个柴油罐,5 个汽油罐),2 个 2 000 m³ 混油罐,3 个 1 000 m³ 混油罐,2 个 600 m³ 汽油罐,2 个 300 m³ 柴油罐,1 个 500 m³ 地下混油罐,以及混油分离装置、泵房、地上和地下管网,站场具体布局见图 3。

在定量风险评价中,通过危险和可操作性分析(HAZOP)识别出主要的风险源是储罐、输油管道、热交换器、泵,并设定 25 个事故场景。在失效概率估算中,采用了 VROM 在定量风险评价导则中规定的概率,并通过设备系数和管理系数对失效概率进行修正^[7]。其中,设备系数考虑了包括工厂条件、冷天气运行、地震活动性等通用因素,以及连续性、稳定性、泄压阀等工艺因素;管理系数考虑了包括领导、管理、变更的管理、运行规程、紧急响应、工艺安全信息、工艺危害性分析等 13 项内容。在后果评估中,将不易出现的闪火、蒸汽云爆炸等舍去,主要考虑了池火。影响距离采用的标准是人逃离事故点的时间为 20 s,建筑物着火需要的热辐射当量临界值为 35 kW/m²,导致二度烧伤的热辐射当量临界值为 3 kW/m²,导致一度烧伤热辐射当量临界值为 1 kW/m²。

根据我国国情,个人风险可接受指标采用了略低于某些发达国家的标准,见表 1。社会风险可接受指标则采用了荷兰标准,见表 2。定量风险评价得到个人风险等值线见图 3,社会风险曲线见图 4。由评价结果可知,除了驻站人员宿舍和油库西侧消防楼的个人风险落在 10⁻⁶ 风险等值线范围内(见表 1),其他都符合接受标准。社会风险曲线没有超出许可范围,落在 ALARP 区域,可认为没有高风险,但存在改善的空间。根据评价的具体结果,从降低风险的角度,提出了一系列有针对性的控制措施,有效地指导了该站场的风险管理。

表 1 某站采用的个人风险可接受指标与评价结果

风险等值线	个人风险可接受指标	评价结果
10 ⁻⁴	该风险在厂外,不能接受	该个人风险等值线没有超出站场边界
10 ⁻⁵	该风险在商业区和低危险工业区,不能接受	离站场最近的工厂在该等值线以外
10 ⁻⁶	该风险在住宅区,不能接受	除了驻站人员宿舍和消防楼之外,离站场最近的民房在该等值线以外

表 2 某站场采用的社会风险可接受指标

可接受指标 (死亡人数/每年累积频率)	可忽略指标 (死亡人数/每年累积频率)
$1/1 \times 10^{-3}$	$1/1 \times 10^{-5}$
$100/1 \times 10^{-7}$	$10/1 \times 10^{-7}$
$1\ 000/1 \times 10^{-9}$	$100/1 \times 10^{-9}$

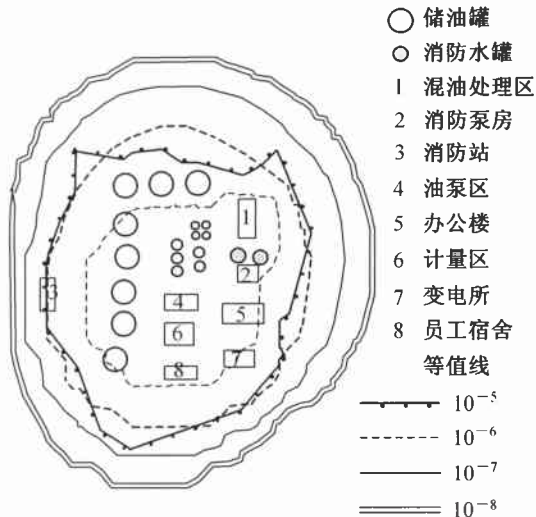


图 3 某成品油站场布局和个人风险等值线

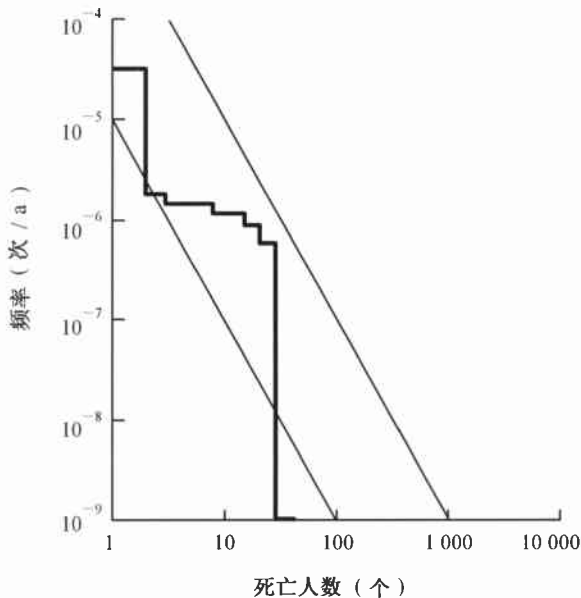


图 4 某成品油站场社会风险曲线(F-N 曲线)

场定量风险评价还受到很多条件的限制,需要各方面逐步解决。一是我国需尽快建立国家或者行业层面甚至是管道企业自己的失效数据库;二是有关部门应着手建立国内或者企业的风险可接受标准,为定量风险评价提供参考依据;三是应研究建立一套系统的适合油气管道站场的定量风险评价方法。

参 考 文 献

- 1, 代利明 陈玉明:几种常用定量风险评价方法的比较,安全与环境工程,2006,13(4)。
- 2, 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,中国石化出版社(北京),2007。
- 3, Bottelberghs P H: Risk analysis and safety policy developments in The Netherlands, Journal of Hazardous Material, 2000, 71.
- 4, 刘铁民:低概率重大事故风险与定量风险评价,安全与环境学报,2004,4(2)。
- 5, 吴宗之 多英全等:区域定量风险评价方法及其在城市重大危险源安全规划中的应用,中国工程科学,2006,8(4)。
- 6, 严大凡 张劲军:油气储运工程,中国石化出版社(北京),2007。
- 7, Committee for the Prevention of Disasters: Guidelines for Quantitative Risk Assessments, Netherlands, 2005.
- 8, 赵忠刚 姚安林等:油气管道可接受性风险评估的研究进展,石油工业技术监督,2005,21(5)。

(修改稿收到日期:2009-02-20)

五、结论与建议

定量风险评价技术较为科学、合理、可行,能为管道站场土地使用的安全规划设计和风险管理提供理论基础和技术支持。但是,当前开展油气管道站