

Safeti 软件在天然气长输管道风险计算中的应用

蔡晓磊 唐 伟 (湖南安康友诚安全评价有限公司, 湖南 长沙 410000)

摘 要: 基于天然气长输管道在运输过程中可能存在各种泄漏事故类型, 采用挪威船级社 (DNV) 的 Safeti 定量风险分析软件, 分析了天然气长输管道的危险特性及运输过程中泄漏事故危险性, 并运用 Safeti 软件对天然气长输管道发生泄漏后的火灾、爆炸事故后果进行定量分析, 综合事故发生频率, 得出个人风险和社会风险模拟图, 从而为新、改、扩建天然气长输管道的安全及管道布置提供指导, 为已建天然气长输管道起到重点范围管控的作用。

关键词: 天然气长输管道; 挪威船级社 (DNV) Safeti 风险定量计算软件; 个人风险; 社会风险

0 引言

天然气作为燃料已进入千家万户, 主要成分为烷烃、甲烷、乙烷等, 具有易燃、易爆、易扩散性, 爆炸极限为 5-15(V/V%), 闪点约 -188°C , 极度的易燃, 当与空气混合后能形成爆炸性混合物, 遇点火源、热源有燃烧爆炸的风险。目前天然气全国“一张网”, 管道作为天然气运输的主要方式进入千家万户, 近年来天然气导致的事故后果频发, 且长输管道在日常运行的过程中, 存在自然灾害、长时间腐蚀、第三方破坏、设计缺陷、误操作等诸多因素会导致管道失效破裂。一旦管道泄漏, 由于天然气的易燃、易爆等特性, 极易引发火灾、爆炸等恶性事件, 从而造成人员伤亡、经济损失、环境污染和恶劣社会影响等事故后果。

为了预防和减少天然气长输管道事故的发生, 本文采用目前国际上认可的定量风险评估方法, 运用挪威船级社的定量风险分析软件对其事故后果和风险进行预测, 从而对新建天然气长输管道的路由规划起到一定的作用, 对已建天然气长输管道起到重点管控的作用。

1 管道选取

天然气长输管道全国“一张网”, 管道较长遍布全国。本论文选用长输管道中高后果区作为评估节点, 高后果区的选定原则为综合特定场所最多、人口最多及易燃易爆场所的分布情况而定, 特定场所如: 托儿所、学校、商场、监狱、养老院、医院、幼儿园等人群疏散困难的建筑区域, 同时在一年之内至少有 50d (时间计算不需连贯) 聚集 30 人或更多人的区域。如广场、剧院、露营地、寺庙、集贸市场、娱乐休闲地、运动场等; 易燃易爆场所如油库、加油站等。采用挪威船级社 (DNV) Safeti 风险定量计算软件进行定量风险评估。挪威船级社公司开发的软件

PHAST&Safeti 软件拥有 20 多年的工业应用经验, 在国际上具有权威地位, 利用该软件可以准确的预测天然气长输管道泄漏后在特定天气状况、地理环境下的扩散情况。

天然气为易燃、易爆、易扩散性的气体, 如若发生泄漏, 将随风进行扩散从而可能形成蒸气云团, 当与空气混合形成爆炸性混合气体, 遇点火、热源可能发生蒸气云爆炸。

2 风险分析基准

依据《油气输送管道风险评价导则》SY/T6859 公布的风险基准, 通过定量风险计算个人可接受风险等值线及社会风险曲线图。

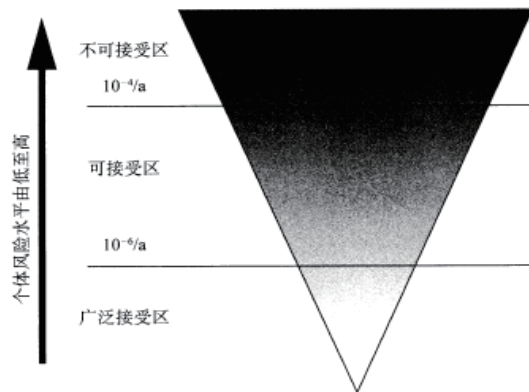


图1 油气输送管道个体风险基准

2.1 油气管线个体风险基准

油气输送管道个体风险分为三个区域, 即不可接受区, 可接受区和广泛接受区, 并遵循 ALARP 准则, 如图1所示。

①如果个体风险水平高于容许上限 ($10^{-4}/\text{a}$), 该风险不能被接受; ②如果个体风险水平低于容许下限 ($10^{-6}/\text{a}$), 该风险可以接受; ③如果个体风险水平介于上限和下限之间, 可考虑风险的成本与效益分析,

采取降低风险的措施，使风险水平“尽可能低”。

2.2 管线社会风险基准

社会风险用于描述事故发生的可能性和灾害导致人员伤亡数量之间的关系，或者解释为导致N人以上死亡事故的发生概率F，常采用社会风险曲线(F-N曲线)表示。

社会风险的可接受准则可以表示为FN准则线图，如图2所示。图中，直线下方为可接受区，上方为不可接受区。

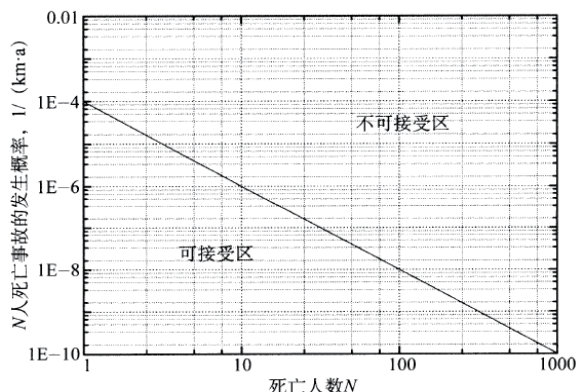


图2 油气输送管道社会风险基准

3 风险分析过程

风险定义为发生特定危害事件的可能性以及发生事件后果严重性的结合。个人风险为假设人员长期处于某一场所且无保护，由于发生危险化学品事故而导致的死亡频率。社会风险为群体在危险区域承受某种程度伤害的频发程度。本论文天然气长输管道风险即为天然气长输管道事故概率与事故后果的乘积。

以下运用 safeti 软件计算高后果区天然气管线发生危险化学品事故进行个人风险和社会风险的预测。

Map 模块中导入高后果区段卫星地图，管线起止桩号 AD378~AD444，同时设定长输管道起点与终点，

软件计算时是模拟埋地 1m 的天然气管道。

3.1 输入参数

在 Weather 模块中输入长输管道高后果区所在地天气参数。同时考虑高后果区管道距离上游最近阀室 / 分输站和下游最近阀室 / 分输站的距离，输入高后果区管线长度，阀室设置情况、天然气温度、压力、管径、输气量、管道全长等参数，如表 1。

3.2 建模

在 Models 模块中，选取可能发生事故影响最大的管线位置为泄漏点，建立在 5mm 孔泄漏、50mm 孔泄漏、150mm 孔泄漏及管线断裂情况，引起扩散后，发生火灾、爆炸等情景事故结果，可以计算出事故后果的影响程度和影响范围。事故后果计算模型包括蒸气云爆炸模型、火灾热辐射计算模型、天然气扩散模型，得到事故后果影响范围如表 2 所示：



图3 天然气管道管线断裂发生爆炸影响范围示意图

3.3 建立事件树

建立夜晚可燃 Run Rows。

3.4 输入失效频率

依据《油气输送管道完整性管理规范》GB32167 附录 G，我国输气管道的泄漏频率为 0.193×10^{-3} 次 / (km.a)，参照《危险化学品生产装置和储存设施外

表 1 管道事故模拟计算参数表

设备设施	危险物质	温度℃	压力MPa	输气量	管外径 / 壁厚	管线全长	高后果区 管线长度	AD378 距离 上游阀室的 距离	AD444 距离下 游阀室的距离
管道	天然气	20	6.3	0.375kg/s	Φ323.9×7.1	121.28km	5.5km	12.7km	1.5km

表 2 高后果区天然气管线泄漏事故后果汇总

管道	事故类型	事故情景	下风向最大影响距离 m (1.6B)				备注
			管线断裂	5mm 孔泄漏	25mm 孔泄漏	150mm 孔泄漏	
天然气管道	火灾	喷射火	8.951m	/	/	7.8029m	37.5kW/m ²
		闪火	3.2687m	2.6342m	0.7979m	0.0785m	可燃下限
	爆炸		134.441m	/	/	74.4714m	0.1bar
			72.6984m	/	/	63.1646m	0.3bar

部安全防护距离确定方法》(GB/T37243)附录C.1中管道直径300mm的小孔泄漏频率为 3×10^{-7} ,中孔泄漏频率为 1×10^{-6} ,大孔泄漏频率为 1×10^{-7} ,完全破裂泄漏频率为 7×10^{-8} 。

本文管道失效频率取 0.193×10^{-3} 次/(km.a),其中,发生管道断裂的概率占4.8%,管道5mm小孔泄漏的概率占20.4%,管道25mm中孔泄漏的概率占68%,管道100mm大孔泄漏的概率占6.8%。

3.5 输入点火概率

此天然气长输管道涉及的点火源分为:点源有机动车辆、人员等;线源有公路等;面源有居民区等。在卫星图中绘出点火源。

依据GB/T 37243-2019附录F表F.5和《油气输送管道风险评价导则》SY/T 6859附录E表E.2,机动车辆的点火概率为0.4(60s);公路的点火概率依据交通密度计算,故根据道路情况输入交通密度参数;居民的点火概率为0.01/人,居民区按 $P(t) = 1 - e^{-nwt}$ 计算。

3.6 输入周围敏感人口参数

在safeti软件中绘出高后果区周边敏感人口的分布。

运行后,在safeti软件中分别得到高后果区天然气管线发生危险化学品事故的个人风险等高线和社会风险曲线。

4 个人风险结果

高后果区天然气管线发生危险化学品事故的个人风险等高线如图4所示:

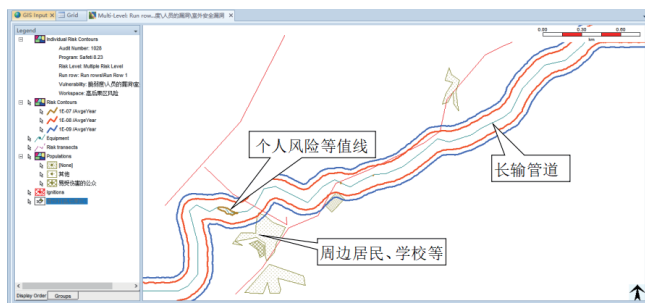


图4 高后果区天然气管线的个人风险等高线图

由图可知,该高后果区天然气管线发生危险化学品事故时未形成 1×10^{-4} 个人风险等高线,只形成了 1×10^{-7} 次/年个人风险等高线(橙色圆圈)和 1×10^{-8} 次/年个人风险等高线(红色),说明本项目天然气管线的高后果区区段的个人风险值均低于 1×10^{-4} 次/年,个人风险可接受。

5 社会风险结果

由图5可知,高后果区天然气管线发生危险化学

品事故时,社会风险曲线处于可接受区域,社会风险可接受。

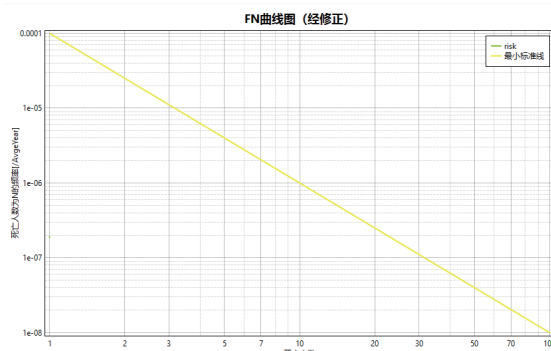


图5 高后果区天然气管线的社会风险标准(F-N)曲线示意图

6 结语

本文采用挪威船级社(DNV)Safeti风险定量计算软件对天然气长输管道进行定量风险评估,从而得到天然气管道发生泄漏后,导致的火灾、爆炸对周边人员的影响,根据周边点火源情况、人员分布情况得出天然气管道的个人风险和社会风险情况,从而对新建天然气长输管道的路由规划起到一定的作用,对已建天然气长输管道起到重点管控的作用,为天然气管网公司制定安全措施及应急预案提供参考。

参考文献:

- [1]GB 32167-2015. 油气输送管道完整性管理规范[S]. 北京:国家质量监督检验检疫总局,2015.
- [2]GB/T37243-2019. 危险化学品生产装置和储存设施外部安全防护距离确定方法[S]. 北京:国家标准化管理委员会,2019.
- [3]SY/T 6859-2012. 油气输送管道风险评价导则[S]. 北京:国家质量监督检验检疫总局,2012.
- [4]严大凡,翁永基,董绍华. 油气长输管道风险评价与完整性管理[M]. 北京:化学工业出版社,2005.
- [5]GB 36894-2018. 危险化学品生产装置和储存设施风险基准[S]. 北京:国家标准化管理委员会,2018.
- [6]陈雪锋. 天然气长输管道定量风险评价方法及其应用研究[J]. 化工设计通讯,2022(12):34-36.
- [7]傅佳佳. 应用SAFETI软件进行模拟CO泄漏事故后果分析[J]. 化工管理,2021(6):3.
- [8]何宁辉,张玉涛,吕锡胜,等. 基于SAFETI软件的天然气储配厂罐区定量风险分析[J]. 安全,2020,41(6):5.
- [9]滕莉梅,王云. SAFETI风险分析软件的应用[J]. 石油化工安全技术,2021,19(6):3.

作者简介:

蔡晓磊(1980-),男,汉族,河南郑州人,本科,研究方向:化工安全。