

液化天然气气化站风险评价实例分析

张秀青

(大连市环境科学设计研究院, 辽宁 大连 116023)

摘要:以某拟建液化天然气气化站项目为例,对环境风险评价的要点进行了分析。根据风险导则要求及重大危险源辨识标准,对液化天然气气化站的重大风险源进行了识别,给出了最大可信事故及源强的确定方法,采用多烟团模式及蒸气云爆炸模式对确定的最大可信事故后果进行预测,并阐述了风险计算和评价结论及风险管理等内容。

关键词:液化天然气; 气化站; 环境风险评价; 实例分析

中图分类号: X822.4 **文献标识码:** A

文章编号: 1672-9242(2011)03-0104-05

Case Analysis of Environmental Risk Assessment on LNG Vaporizing Station

ZHANG Xiu-qing

(Dalian Municipal Design and Research Institute of Environmental Science, Dalian 116023, China)

Abstract: The essentials of ERA were analyzed with example of LNG vaporizing station project. According to the requirement of risk guideline and significant dangerous source identification standard, the significant dangerous source of LNG vaporizing station was identified. The determination method of the most greatly credible accident and the source intensity was put forward. The aftereffect of the most greatly credible accident was predict, which was determined by INPUFF and the fume cloud explosion modes. Risk computation, appraisal conclusion and risk management were discussed.

Key words: LNG; vaporizing station; environmental risk assessment; case study

液化天然气(LNG)是高效、优质、安全的清洁能源,其单位质量发热量高于单位质量煤、焦炭的发热量,与汽油、柴油的单位质量发热量相当。LNG气化站是LNG与空气进行热交换,发生相变,产生气体,调压后灌装或由管网输入各用户的场站。LNG主要成分是甲烷,属易燃物质,一旦发生突发泄漏事故,往往与爆炸、火灾相互引发,且发展迅猛,因此,对

LNG相关项目进行环境风险评价是必要的。以某一拟建LNG气化站项目的风险评价为例,对LNG气化站项目风险评价要点进行实例分析。

1 LNG气化站项目概况

项目建于某开发区,为新建项目,周边1 km范

收稿日期: 2010-10-27

作者简介: 张秀青(1974—),女,硕士,工程师,研究方向为环境科学。

围内无居民等敏感目标存在。

工程建设内容包括气化区、储罐区、调压区、办公楼、低压配电间、高压配电间、汽车衡等。气化站主要设备包括LNG储罐、空温式气化器、卸车自增压气化器、空温式储罐升压气化器、蒸发气体(BOG)空温式加热器、安全放散气体(EAG)空温式加热器及加臭机撬块等。LNG气化工艺流程如图1所示。



图1 工艺流程

Fig. 1 Project flow chart

2 风险识别

环境风险识别范围包括生产过程所涉及

的风险识别和生产设施风险识别。其中,生产设施风险识别范围包括主要生产装置、贮运系统、公用工程系统、工程环保设施及辅助生产设施等;生产过程所涉及物质风险识别范围包括主要原材料及辅助材料、燃料、中间产品、最终产品以及生产过程排放的“三废”污染物等。

2.1 物质风险性识别

依据HJ/T 169—2004《建设项目环境风险评价技术导则》和GB 18218—2009《危险化学品重大危险源辨识》的判断标准,对项目涉及的化学物质(液化气主要组分甲烷及加臭剂四氢噻吩)进行识别。危险性识别标准见表1,物质性质分别见表2和表3。

经分析甲烷(天然气主要成分)属于《建设项目环境风险评价技术导则》和《危险化学品重大危险源辨识》中列出的易燃物质,风险类型为泄漏、火灾和爆炸。同时,《危险化学品重大危险源辨识》中规定甲烷的临界量为50 t,参照该标准中“未列举的危险化学品类别及其临界量”表,加臭剂四氢噻吩为闪点<23℃的液体,临界量(Q)为1 000 t,而该项目最大储存量(q)为200 kg,其 q/Q 值远远小于1,并且其 LC_{50} (2 h,小鼠吸入)为27 000 mg/m³,属于低毒物质,因此不将其作为风险源进行进一步评价。

表1 物质危险性识别标准

Table 1 Material risk recognition standard

mg/kg

项目	LD_{50} (大鼠经口)	LD_{50} (大鼠经皮)	LC_{50} (小鼠吸入, 4 h)
1	≤ 5	≤ 10	≤ 0.1
有毒物质 2	$5 < LD_{50} \leq 25$	$10 < LD_{50} \leq 50$	$0.1 < LC_{50} \leq 0.5$
3	$25 < LD_{50} \leq 200$	$50 < LD_{50} \leq 400$	$0.5 < LC_{50} \leq 2$
1 可燃气体——在常压下以气态存在并与空气混合形成可燃混合物;其沸点(常压下)是20℃或20℃以下的物质			
易燃物质 2	易燃液体——闪点低于21℃,沸点高于20℃的物质		
3	可燃液体——闪点低于55℃,常压下保持液态,在实际操作条件下(如高温高压)可以引起重大事故的物质		
爆炸性物质	在火焰影响下可以爆炸,或者对冲击、摩擦比硝基苯更为敏感的物质		

注:表中1,2,3表示有毒物质及易燃物质的危害等级,1级危害性最大。

2.2 生产、储运系统风险识别

项目主要生产过程为气化过程,生产装置为各气化器。根据物料性质及工艺特点,生产装置潜在的风险事故类型为LNG泄漏、火灾和爆炸。

项目储存系统包括8个150 m³立式储罐。根据物料性质及储存特点,储存系统潜在的风险事故类

型为LNG泄漏、火灾和爆炸。

2.3 重大风险源判别

依据《危险化学品重大危险源辨识》及《建设项目环境风险评价导则》,对项目进行重大危险源判别(单元内存在危险物质的数量等于或超过规定的临界量,即被定为重大危险源)。单元内存在的危险物

表2 甲烷(天然气主要成分)理化性质^[1-2]Table 2 Physicochemical property of CH₄ (main ingredients of LNG)^[1,2]

分子式	CH ₄	外观与性状	无色无臭气体
分子量	16.04	蒸气压	53.32 kPa/-168.8 ℃, 闪点:-188 ℃
沸点	-161.5 ℃	溶解性	微溶于水,溶于醇、乙醚
密度	0.42(相对于水), -164 ℃ 0.55(相对于空气)	稳定性	稳定
危险标记	4(易燃液体)	毒性	属微毒类。允许气体安全扩散到大气中或当作燃料使用。有单纯性窒息作用,在高浓度时因缺氧窒息而引起中毒。空气中达到25%~30%(体积分数)会出现头昏、呼吸加速、运动失调。急性毒性:小鼠吸入42%(体积分数)×60 min,麻醉作用

注:甲烷别名沼气。

表3 四氢噻吩理化性质^[1-2]Table 3 Physicochemical property tetrahydrothiophen^[1-2]

分子式	C ₄ H ₈ S; (CH ₂) ₄ S	外观与性状	无色液体
分子量	88.17	闪点	12.8 ℃
沸点	119 ℃	溶解性	不溶于水,可混于乙醇、乙醚、苯、丙酮
密度	1.00(相对于水)	稳定性	稳定
危险标记	7(易燃液体)	毒性	急性毒性:LC ₅₀ =27 000 mg/m ³ , 2 h(小鼠吸入)

注:四氢噻吩别名为四甲撑硫、四氢硫杂茂。

质为多品种时,则按下式计算,若满足下面公式,则定为重大危险源:

$$\frac{q_1}{Q_1} + \frac{q_2}{Q_2} + \dots + \frac{q_n}{Q_n} \geq 1 \quad (1)$$

式中: $q_1, q_2, \dots, q_n$ 为每种危险物质实际存在量, $t; Q_1, Q_2, \dots, Q_n$ 为与各危险物质相对应的生产场所或贮存区的临界量, t 。判别结果见表4。

由表4可知,该项目储存系统属重大风险源。

3 源项分析

源项分析主要包括确定最大可信事故(指事故所造成的危害在所有预测的事故中最严重,并且发生该事故的概率不为0)的发生概率及危险化学品的

表4 重大风险源判别明细

Table 4 Data sheet of significant risk source

所属单元	危险物质	设备名称	最大贮存量 q_n/t	临界量 Q_n/t	q_n/Q_n	q_n/Q_n 合计	辨识结果
气化单元	LNG	空温式气化器(立式)	0.3×8	50	0.048	0.05	非重大危险源
		卸车自增压气化器	0.05×2		0.002		
储存系统	LNG	储罐	60.7×8		9.7	9.7	重大危险源

泄漏量。分析方法包括定性分析和定量分析法。

3.1 最大可信事故及源强确定

通过研究国内外同类企业事故资料,在对项目进行风险识别、分析和事故分析的基础上,从安全角度考虑,最严重的情况是储罐区LNG储罐管线泄漏、穿孔、断裂或破罐,引发LNG泄漏事故。因此,该项目风险评价的最大可信事故及源强设定为:

1) 单个LNG储罐泄漏,泄漏量为单个储罐全部储量60.7 t;

2) LNG泄漏后气化,遇明火发生燃烧或爆炸事故。

3.2 最大可信事故概率

事故概率可以通过事件树、事故树分析法或类比法确定。该项目通过类比国内外资料,确定项目

对环境造成重大影响的最大可信事故概率为 8.8×10^{-7} [3]。

4 后果计算

4.1 LNG 泄漏事故后果计算

根据《危险物品安全手册》,天然气主要成分甲烷属“单纯窒息性”气体,小鼠吸入 42% (体积分数) 60 min 即麻醉。

泄漏速率采用液体泄漏公式计算:

$$Q_L = C_d A \rho \sqrt{\frac{2(P - P_0)}{\rho} + 2gh} \quad (2)$$

式中: Q_L 为液体泄漏速率, kg/s; C_d 为液体泄漏系数, 0.62; A 为裂口面积, $0.001\ 96\ \text{m}^2$; P 为容器内介质压力, $700\ 000\ \text{Pa}$; P_0 为环境压力, $101\ 325\ \text{Pa}$; g 为重力加速度; h 为裂口之上液位高度, $15\ \text{m}$ 。经计算,液体泄漏速率为 $28.8\ \text{kg/s}$ 。

考虑泄漏的 LNG 全部气化,采用多烟团模式进行预测。结果表明,甲烷体积分数达到 42% 的最大距离为 $136.9\ \text{m}$,时间为 $35\ \text{min}$,尚未达到致小鼠麻醉的 $60\ \text{min}$ 。

4.2 LNG 泄漏后气化遇明火燃烧爆炸后果计算

4.2.1 燃烧

LNG 泄漏后,将迅速气化,形成蒸气云,若遇明火,则会引发燃烧事故。燃烧次生 CO 及 CO_2 ,从物质理化性质考虑,CO 毒性较大,因此对燃烧次生的 CO 进行影响范围计算,计算公式如下:

$$G_{\text{CO}} = 2.33 \times q \times C \times Q \quad (3)$$

式中: G_{CO} 为燃烧产生的 CO 量, kg/s; C 为燃烧中碳的质量分数, %; q 为天然气中碳不完全燃烧率, %; Q 为参与燃烧的天然气的量, kg/s,取泄漏量的 50% 计算。经计算,CO 次生量为 $1.26\ \text{kg/s}$ 。

采用多烟团模式,对假定事故时 CO 在各稳定度下的二次污染进行预测。结果表明,遇明火燃烧产生的次生污染物 CO 的半致死质量浓度 ($2\ 069\ \text{mg/m}^3$) 最大范围出现在 F 稳定度有风条件下,事故源下风向为 $275\ \text{m}$,该范围内无居民等敏感目标存在。

4.2.2 爆炸

根据最大危险性原则,将 $150\ \text{m}^3$ 储罐内全部

LNG 作为初始爆炸物的量,并将其实际质量转化为 TNT 当量。

TNT 当量计算公式如下:

$$W_{\text{TNT}} = \frac{\alpha W_f Q_f}{Q_{\text{TNT}}} \quad (4)$$

式中: W_{TNT} 为蒸气云的 TNT 当量, kg; W_f 为蒸气云中燃料的总质量, kg; α 为蒸气云爆炸的效率因子, 3%; Q_f 为蒸气的燃烧热, kJ/kg ; Q_{TNT} 为 TNT 的爆炸热, J/kg 。

表 5 预测结果表

Table 5 Data sheet of forecasting results

伤害程度	冲击波影响半径/m	有无敏感目标
死亡	52.8	无
重伤	134	无
轻伤	240.5	无
财产损失	156	无

5 风险计算和评价

风险评价以风险值作为表征量,计算公式如下:

$$\text{风险值} \left(\frac{\text{后果}}{\text{时间}} \right) = \text{概率} \left(\frac{\text{事故数}}{\text{单位时间}} \right) \times$$

$$\text{危害程度} \left(\frac{\text{后果}}{\text{每次事故}} \right) \quad (5)$$

根据式(5)计算该项目风险值,见表 6。

表 6 事故风险值

Table 6 Accident risk value

事故类型	火灾	爆炸
半致死浓度范围/m	313.5	52.8(死亡半径)
影响范围内敏感目标人数	0	0
设定事故概率	8.8×10^{-7}	8.8×10^{-7}
最大风险值/(人死亡·a ⁻¹)	0	0
石油化工行业建议标准	$< 8.33 \times 10^{-5}$ 人死亡/a	

由表 6 可知,项目最大可信事故风险值为 0,与石油化工统计标准比较,项目风险处于可接受水平内。

6 风险管理

从项目选址、总图布置、建筑安全、危险品贮运、

工艺设计、自动控制设计、电气、电讯、消防等方面提出相关安全防范措施。

根据企业特点建应急组织体系;确定预案分级相应条件;建立应急联络;信息报送及处置机制;与周边企业和园区建立对接及联动,制定报警、通讯联络方式;确定应急监测系统与实施计划,风险污染消除、减缓措施;积极开展培训、演习制度及公众教育;建立环境污染三级防控体系等应急预案。

7 结语

LNG作为一种清洁高效能源,不仅可以使能源结构趋于合理,缓解供需矛盾,而且对于提高城市品位、改善环境、提高人民生活质量和实现经济可持续发展都将起到十分重要的作用。LNG是易燃物质,一旦发生泄漏事故,其经济后果和环境后果不堪设想,因此,对于LNG相关项目的环境影响评价,环境风险评价应作为必不可少的评价重点,但在实际工作中,如何根据导则要求对项目进行风险评价是环评工作者的难点。文中介绍的风险评价实例解决了

导则的实际操作问题,给出了适用于LNG相关项目确定最大可信事故、事故源强的方法以及事故后果的预测模式,可供同行进行参考。

参考文献:

- [1] 国家环保局有毒化学品管理办公室,化工部北京化工研究院环保研究所. 化学品毒性法规环境数据手册[M]. 北京:中国环境科学出版社,1992:552—610.
- [2] 王箴. 化工辞典[K]. 北京:化学工业出版社,1993:300—379.
- [3] 于力见. 定量风险评价中泄漏概率的确定方法探讨[J]. 中国安全生产科学技术,2007,3(6):27—30.

(上接第96页)

由测量结果得出,海水表面工频磁场总幅值为6.093 nT,根据前面计算得出的比值,对应的海水中的工频磁场幅值约为0.182 nT,可认为其量值接近0.2 nT,而实际测得的海水中工频磁场总场幅值为0.198 nT,与理论结果基本吻合。从最终结果来看,用海水表面的测量结果对海水中工频磁场强度进行大致的量级估计是可行的。

4 结语

文中提出的海水中工频磁场强度的快速估计方法,是利用相应海面上测得的磁场强度,通过理论换算得到设备布放深度的工频磁场强度。通过海上实测数据的验证,认为这种方法切实有效。这种方法操作简单、易于实现,不仅为海洋电磁观测提供了一

种新的手段,也使得海上试验时快速选择测量区域成为可能。

参考文献:

- [1] 陈芸,吴晋声. 海洋电磁学及其应用[J]. 海洋科学,1992(2):19—21.
- [2] 叶贤平,龚沈光. 舰船物理场[M]. 北京:兵器工业出版社,1992.
- [3] SHULEYKIN V V. Electromagnetic Phenomena in the sea [R]. Washington: Joint Publication Research Service, 1970.
- [4] SODERBERG Emil F. A Study of the Distribution of Extremely Low Frequency (ELF) Electromagnetic Fields in the Ocean Near a Shoreline[M]. London: 1976.
- [5] 张自力. 海洋电磁场的理论及应用研究[D]. 北京:中国地质大学,2009:14—19.