

基于个人风险的土地利用规划 在 LNG 储备库的应用

李清水, 刘 茂, 操 铮, 王 坤

(南开大学城市公共安全研究中心, 天津 300071)

[摘要] 对基于个人风险的土地利用规划进行研究,确定方法的框架和程序,并应用于某拟建液化天然气储备库周边的土地利用与布局调整。对拟建天然气储备库可能发生的事故,选取蒸气云爆炸及沸腾液体扩展蒸气爆炸进行讨论。在确定事故发生概率及事故后果的基础上,对拟建液化天然气储备库的个人风险进行计算。借鉴英国土地利用规划中个人风险的可接受标准,在液化天然气储备库周围划分三个风险区域,根据各区域的功能规定及储备库周围土地利用现状,对储备库周围的土地利用进行规划与调整。结果表明,液化天然气储备库附近有两处居民区、一个工厂需要搬迁。基于个人风险的土地利用规划方法在合理确定重大工程选址及周边建筑与设施的布局上是行之有效的方法。

[关键词] 公共安全;土地利用规划;风险定量分析;个人风险;LNG

[中图分类号] X932 [文献标识码] A [文章编号] 1009-1742(2008)09-0079-05

1 前言

涉及各种易燃易爆、有毒有害危险品的危险设施,因人为、设备、生产管理和环境因素等都可能引起灾难性泄漏,进而引发火灾、爆炸、毒气扩散等事故,且事故一旦发生,往往超出设施的边界,造成大量人员伤亡和财产损失。若事故发生在城市区域或人口聚集区,因人员集中,疏散困难,造成的后果会更加严重。如1984年发生的墨西哥石油公司(PEMEX)液化石油气储罐/转运站爆炸事件。火球直径长达360 m,4个球型储罐及44个卧式储罐全数遭到破坏,储罐/转运站内设备几乎全毁,波及距离厂区周围约1 200 m处的建筑物,造成居民约650人死亡、6 000人受伤及将近31 000人无家可归的历史性惨剧^[1]。为防止此类重大伤亡事故发生,减轻事故对人类和自然环境造成的影响,需在风险分析的基础上对危险设施的选址,且要对选址周边土

地利用,如哪些区域可作居民区,哪些区域可作商业区,哪些区域要限制人口密度等进行规划。

从方法论的角度,以风险分析为基础的土地利用规划方法有两种^[2,3]:a. 基于事故后果的方法;b. 基于个人风险的方法。

基于事故后果的方法,对事故发生概率不予关注,只需在辨识出大量事故场景的基础上,找出最严重事故场景进行评价,并以评价结果为依据进行土地利用规划,该方法在法国得到广泛应用。而基于个人风险的方法,则不仅要评价大量可能事故场景的后果,还要分析它们发生的概率,比基于事故后果的方法更加全面,但较为复杂,在荷兰、英国的土地利用规划中应用较多。两种方法各有优缺点,如表1所示。

表1 两种方法的比较

Table 1 Comparision of the two approaches

	优点	缺点
基于事故后果的土地利用规划	简单易行	较为片面
基于个人风险的土地利用规划	全面	复杂

[收稿日期] 2008-05-28;修回日期 2008-07-07

[基金项目] “十一五”科技支撑计划资助项目(200603746006)

[作者简介] 李清水(1982-),男,河北献县人,南开大学城市公共安全研究中心硕士研究生,主要研究方向为基于风险理论与GIS的土地规划研究

在 LNG 储备库选址已定的情况下,笔者应用基于个人风险的方法对 LNG 储备库周边的土地利用进行规划。

2 基于个人风险的土地利用规划

基于个人风险的土地利用规划以个人风险的定量分析为基础,以防止重大伤亡事故、减缓事故后果为目标,根据风险分析结果划分风险区域,继而根据各风险区域的功能规定确定土地利用类型。

2.1 基于个人风险的土地利用规划的一般步骤

基于个人风险进行土地利用规划时,一般步骤如图 1 所示。

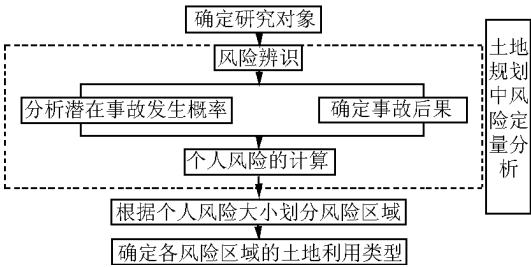


图 1 基于个人风险的土地利用规划的一般步骤

Fig. 1 Process of the individual risk-based approach for land use planning

2.2 土地利用规划中个人风险的定量分析

个人风险^[4] (individual risk, IR) 指一个无防护的人永久待在某一地点,由于事故的发生而死亡的可能性。个人风险的大小与距风险源的远近有关,距风险源越近,个人风险越大,反之亦然。个人风险在图上通常用风险等值线直观表示,图 2 是一个典型的危险设施的个人风险等值线图。

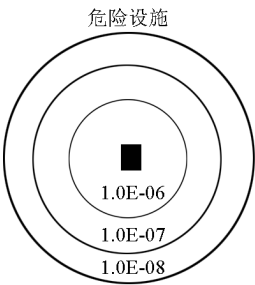


图 2 危险设施的个人风险等值线

Fig. 2 Contour of individual risk of hazardous establishment

土地利用规划中个人风险的定量分析包括以下 4 个阶段^[3]: a. 风险的辨识; b. 分析事故发生概率(频率); c. 确定事故后果(即个人因受到事故影响而死亡的概率); d. 个人风险的计算。

通常情况下,个人风险的计算如下式所示。

$$IR = P_f \cdot P_{d/f}$$

式中, P_f 是事故发生的概率; $P_{d/f}$ 是个人由于事故的发生而死亡的概率。

2.3 风险区域的划分

风险区域的划分^[5] 主要根据个人风险的大小,用风险等值线在危险设施周围定义 3 个区域 Z_1 , Z_2 , Z_3 , 如图 3 所示。3 个区域中,个人风险值依次减小,各风险等值线距危险设施的临界距离通过风险的定量分析进行确定。

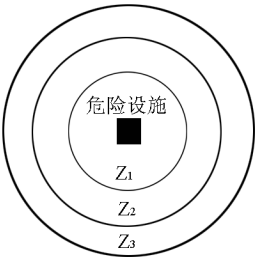


图 3 风险区域的划分

Fig. 3 The definition of risk zones

2.4 各区域土地利用类型的确定

风险区域划分后,根据 3 个风险区域的功能规定,分别对各区域的土地利用进行规划。

目前,我国尚未从风险的角度进行土地利用规划;在欧洲,用于风险区域划分的个人风险标准各国也不统一。鉴于此,笔者借鉴英国安全和健康委员会(HSE)的土地利用规划经验。

表 2^[6] 为英国安全和健康委员会土地利用规划中划分风险区域的个人风险标准及相应各风险区域的土地利用类型。

表 2 英国用于确定设施周围区域的个人风险标准及各风险区域的土地利用类型

Table 2 Criteria used for the definition of risk zones and land utilization of each risk zones in UK

土地利用类型	区域 Z_1	区域 Z_2	区域 Z_3
	($IR > 10^{-5}$)	($IR > 10^{-6}$)	($IR > 3 \times 10^{-7}$)
敏感或大型公共场所(学校、医院、敬老院、体育馆)	不允许	不允许 多于 25 人	需明确、 详细评价
居住区(住宅、旅馆、度假村)	不允许 多于 25 人	不允许多于 75 人	允许
公众聚集场所(大型零售商店、社区和休闲场所)	不允许 多于 100 人	不允许 多于 300 人	允许
人口密度低的小型工厂、露天游乐场	允许	允许	允许

3 基于个人风险的土地利用规划在拟建 LNG 储备库的应用

某地拟建一个液化天然气 (liquid natural gas, LNG) 储备库,选址于地点 A,库容 $10 \times 10^4 \text{ m}^3$,由 2 个 $5 \times 10^4 \text{ m}^3$ 的低温 LNG 储罐盛装。因 LNG 属易燃易爆危险液化气体,且该储备库库容巨大,一旦发生火灾、爆炸,后果将非常严重。因此在该 LNG 储备库规划中,必须考虑可能发生的重大火灾、爆炸事故对人员安全、设备设施及环境的影响,在风险分析的基础上对 LNG 储备库周边土地利用进行规划与布局调整。

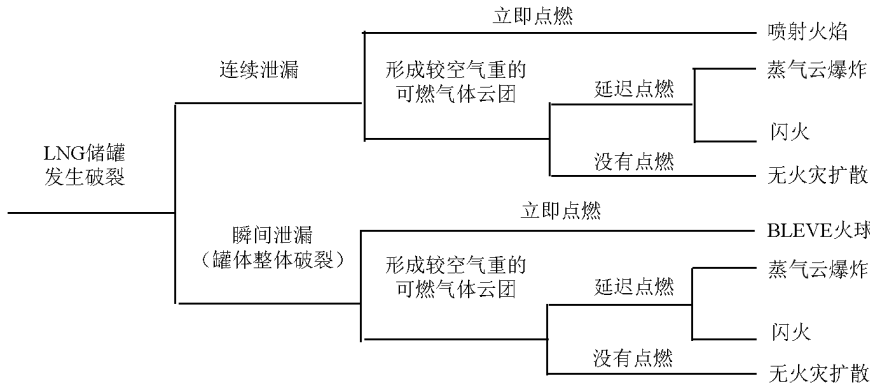


图 4 LNG 储罐火灾发生过程的分析
Fig. 4 Analysis for fire and explosion occurred in the the LNG station

由图 4 的分析可知,LNG 储备库可能发生的火灾、爆炸事故包括:喷射火、闪火、蒸气云爆炸及沸腾液体扩展蒸气爆炸 (BLEVE)。因该 LNG 储备库库容 $10 \times 10^4 \text{ m}^3$,由 2 个 $5 \times 10^4 \text{ m}^3$ 的低温 LNG 储罐盛装。若储罐整体破裂导致 LNG 瞬间大量泄漏,发生火灾、爆炸事故的后果将非常严重,远大于连续泄漏时发生的火灾、爆炸事故。另外,闪火是一种非爆炸性的燃烧过程,常为蒸气云爆炸所掩盖。因此选取 LNG 储罐整体破裂情况下,可能发生的危害严重的 BLEVE 及蒸气云爆炸进行讨论。

因所需数据不全,假设 LNG 储罐破裂发生 BLEVE 及蒸气云爆炸的频率均为 10^{-5} 。

3.1.2 事故后果的计算

在一个储罐发生整体破裂的情况下,设其中的 LNG 全部泄漏进而发生 BLEVE 或蒸气云爆炸。

设泄漏的 LNG 全部参与了 BLEVE 火球的形成,LNG 密度取 $\rho = 0.7 \text{ kg/m}^3$ 。分别应用立体火焰模型^[7,9]及 TNT 当量模型对 BLEVE 及蒸气云爆炸进行计算,人员死亡概率与距 LNG 储罐的距离之间

根据资料,该储备库选址东面距居民点甲 230 m,现有居民 60 人;东南面距工业厂房 180 m,属劳动密集型企业,人员密度较大;南面距居民点乙 600 m,中间有山体阻隔;西面距高尔夫球场 700 m,中间有山体阻隔;西北面距居民点丙 400 m,现有居民 80 人。

应用基于风险的土地利用规划方法,分析如下。

3.1 个人风险的定量分析

3.1.1 风险的辨识及事故发生概率的估计

运用事件树对 LNG 储备库可能发生的事故场景进行分析,如图 4 所示。

的关系见图 5。

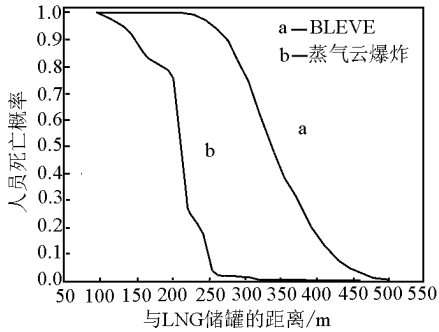


图 5 人员死亡概率与距离关系图 (BLEVE)
Fig. 5 Relationship between the probability of death and distance (BLEVE)

3.1.3 个人风险的计算

根据前面述及的个人风险计算公式,距 LNG 储罐 120 m 处个人风险为

$$IR = \sum_{i=1}^2 P_{fi} \cdot P_{d/fi} = 10^{-5} \times 1 + 10^{-5} \times 0.97 = 1.97 \times 10^{-5}$$

同理,可计算其他距离处的个人风险,计算结果见图 6。

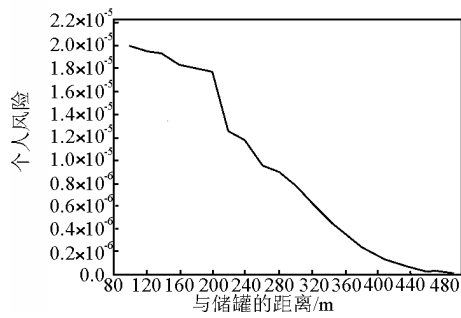


图 6 个人风险与距离关系图

Fig. 6 Relationship between individual risk and distance

3.2 风险区域的划分

个人风险为 10^{-5} , 10^{-6} , 3×10^{-7} 时,距 LNG 储罐的临界距离各为 250 m, 420 m 和 460 m。分别以每个储罐所在位置为圆心,以 250 m, 420 m 和 460 m 为半径画圆,即可确定风险区域 Z_1 , Z_2 , Z_3 。

3.3 各风险区域的土地利用规划与调整

根据 2.4 中表 2 规定,为了预防重大伤亡事故的发生,在风险区域 Z_1 , Z_2 和 Z_3 ,分别做如下规划与调整:

1) 在区域 Z_1 中 ($R < 250$ m, $IR > 10^{-5}$): LNG 储备库东面 230 m 处的居民点甲,因居民数量为 60 人,超过允许人数 25 人,所以需要搬迁;东南面 180 m 处的工业厂房,属于劳动密集型企业,因人员密度较大,也须搬迁。

2) 在区域 Z_2 中 (250 m $< R < 420$ m, $10^{-6} < IR < 10^{-5}$): 西北面距居民点丙 400 m, 现有居民 80 人,超过允许值 75 人,所以该居民点必须搬迁。

3) 在区域 Z_3 中 (420 m $< R < 460$ m, $3 \times 10^{-7} < IR < 10^{-6}$): 没有要搬迁的对象,可根据实际情况需要按 2.4 表 2 中规定进行布置,如设居民区或小型工厂等。

对于储备库南面 600 m 处的居民点乙及西面 600 m 处的高尔夫球场因不在事故影响区域内,且均有山体阻隔,所以可以不搬迁。

4 结语

1) 基于个人风险的土地利用规划可以将危险设施与周边环境分隔开一定距离,对重大伤亡事故可起到明显的防止与减缓作用。

2) 文章应用基于个人风险的土地利用规划方法,在定量风险分析的基础上对某拟建 LNG 储备库周围的土地利用类型进行了规划与调整。目前,国内的土地利用规划多以规划的编制为主,尚未从风险的角度对土地利用规划。该方法是对国内土地利用规划方法的有益补充。

参考文献

- [1] Lin Yongzhang, Ge Weizhong, Xu Qiming. Recalling series of major disasters (6) — Study on explosion of liquefied petroleum gas tank in Mexico Pemex [J]. Chemical industry, 2001, 48(2): 107 - 123
- [2] Council Directive of 9 December 1996. On the control of major - accident hazards involving dangerous substances 96/82/EC [J]. Official Journal of the European Communities, 1997
- [3] Michalis D Christou, Aniello Amendola, Maria Smeder. The control of major accident hazards: The land - use planning issue [J]. Journal of Hazardous Materials, 1999 (65) 151 - 178
- [4] Jonkman S N, Van G P, Vrijling J K. An overview of quantitative risk measures for loss of life and economic damage [J]. Journal of Hazardous Materials, 2003, A99: 1 - 15
- [5] Health and Safety Executive. HSE Land Use Planning zones for major hazard sites and pipelines [R]. Health and Safety Executive, UK, 2007
- [6] Health, Safety Executive. Risk criteria for land use planning in the vicinity of major industrial hazards [R]. Health and Safety Executive, UK, 1989
- [7] Center for Chemical Process Safety Guidelines for evaluating the characteristics of vapor cloud explosion, flash fires, and BLEVEs [M]. New York: The American Institute of Chemical Engineers, 1994. 157 - 242
- [8] Van Den Bosch C J H. Methods for the determination of possible damage to people and objects resulting from releases of hazardous materials [M]. The Hague: The Netherlands Organisation of Applied Scientific Research (TNO), 1992. 60 - 87
- [9] Valerio Cozzani, Gianfilippo Gubinelli, Giacomo Antonioni, et al. The assessment of risk caused by domino effect in quantitative area risk analysis [J]. Journal of Hazardous Materials, 2005, A12718 - 26

The application of the individual risk-based approach for land use planning in LNG station

Li Qingshui, Liu Mao, Cao Zheng, Wang Shen

(Center for Urban Public Safety Research, Nankai University, Tianjin 300071, China)

[**Abstract**] This paper performed quantitative risk analysis of a liquified natural gas station which was planned to built. According to the result of risk analysis, land utilization in the neighborhood of the proposed liquified natural gas station was determined. By making a judgment on the accidents which were likely to happen, jet fire, flash fire, vapor cloud explosion and boiling liquid expanding vapor explosion were included. But in this paper, only vapor cloud explosion and boiling liquid expanding vapor explosion were discussed because of their seriousness. Then individual risk was calculated. Referred to the acceptable criterion of individual risk in UK, three risk zones were defined. According to present situation of land utilization, a proposal about how and what to develop in a risk zone separately was given. The results showed that two settlements and a factory which located in the neighborhood of the proposed liquified natural gas station must be relocated.

[**Key words**] public safety; land use planning; quantitative risk analysis; individual risk; LNG

(上接 73 页)

A robust optimization model considering probability distribution

Ding Ran¹, Li Qiqiang¹, Zhang Yuanpeng²

(1. School of Control Science and Engineering, Shandong University, Jinan 250061, China;

2. School of Electrical Engineering, Shandong University, Jinan 250061, China)

[**Abstract**] Robust optimization is a method to process optimization problem under uncertainty. The current robust optimization methods have some deficiencies in application conditions and probability utilization. Based on the chance constraints programming, two kinds of robust constraints according to two different kinds of probability distribution of the stochastic parameters are proposed, and a novel robust optimization model is proposed. The feasible solutions of this model can be controlled to satisfy the robust index. This model can be used in the situations that both sides of the constraints contain stochastic parameters, and can be easily extended to non-linear models. The simulation results illustrate the validity of the model.

[**Key words**] uncertainty; robust optimization; stochastic programming; chance constraints