

船用 LNG 加气站的建设对堤防安全影响的 分析与研究

陆明春, 张艳霞, 刘 炜

(江苏省水利勘测设计研究院有限公司, 江苏 扬州 225217)

摘要: 从 2001 年中原油田建成的第一套商业化液化天然气 (LNG) 装置开始, 在近 15 年的时间里, 我国 LNG 的应用技术得到了快速发展, 初步建立起了涉及天然气液化、储存、运输、汽化、使用终端以及配套装备制造等各个方面具有中国特色的 LNG 产业链。目前以 LNG 为动力的汽车早已遍布大江南北, 但在水运行业, 江苏境内还没有实质性的进展。本文通过对江苏境内京杭运河上拟建第一座船用 LNG 加气站建设方案的研究, 分析了在行洪、排涝、供水、堤防等级高的河道堤防上建设船用 LNG 加气站对河道堤防安全的影响, 并提出危险防范与应对措施。

关键词: 液化天然气; 船舶加气站; 堤防安全; 冲击波

中图分类号: TV221.1 **文献标识码:** B **文章编号:** 1007-7839 (2016) 06-0008-04

Analysis and research on the influence of the construction of ship LNG refueling station on the dike safety

LU Mingchun, ZHANG Yanxia, LIU Wei

(*Jiangsu Surveying and Design Institute of Water Resource Co., Ltd., Yangzhou 225127, Jiangsu*)

Abstract: After the completion of the first set of commercial liquefied natural gas (LNG) by Zhongyuan Oilfield in 2001, the application technology of LNG in China has been rapidly developed in recent 15 years. LNG industry chain with Chinese characteristics has been initially established, which is involved to natural gas liquefaction, storage, transportation, vaporization, use terminal and ancillary equipment manufacturing and other various aspects. The LNG power vehicle has been all over in China, but no substantive progress has been made in the water transportation industry in Jiangsu province. With the research on the planning construction of first ship LNG refueling station in the Grand Canal of Jiangsu, the influence of the construction of ship LNG refueling station on the high grade dike safety is analyzed. The risk prevention and measures are proposed.

Key words: liquefied natural gas; ship LNG refueling station; dike safety; shock wave

0 引言

LNG (Liquified Natural Gas 液化天然气) 是天然气

(甲烷 CH₄) 在经过净化及超低温状态下(-162° C、一个标准大气压) 冷却液化的产物, 在提供相同热值的情况下能有效降低 90% 的氮氧化物和 25%

收稿日期: 2016-01-29

作者简介: 陆明春 (1980-), 男, 本科, 工程师, 主要从事水利规划工作。

的二氧化碳的排放量。作为一种清洁、高效、安全的能源, LNG正受到各国越来越多的重视。中国LNG能源的应用起步较晚,在能源结构中所占比例较小,但其清洁高效的特性,符合我国推广节能环保、低碳经济的发展方向,未来LNG的使用量将不断增加,行业的发展前景看好。

LNG汽车在很多城市已经得到了大力推广,使用LNG作为动力的汽车,氮氧化物的排放量只有普通汽车的25%,碳氢化合物和碳氧化物的排放量分别是普通汽车的30%和12%,颗粒物的排放几乎是零,因此其绿色环保的特性已深入人心。目前如何将LNG能源推广到船舶动力系统中的技术瓶颈已经打开,2008年8月8号,3000 t级“苏宿货1260”号船作为试验船从宿迁驶入淮安,经过空载和满载试航表明,该船采用柴油~LNG混合后,动力完全满足原船的要求,速度和原船相当且运行稳定,柴油的平均替代率达到70%~80%。在混燃模式下,硫氧化物100%实现了减排,氮氧化物减排85%~90%,二氧化碳也可以减排15%~20%,同时噪声、烟尘、废油及废水的排放也大为降低^[1,2]。

现阶段面临的主要问题是推广应用,其中船用LNG加气站网点的建设,是推广中很重要的一个环节。

1 项目基本情况

江苏境内拟建第一座船用LNG加气站位于宝应安宜镇237省道里程号61 km处,京杭运河里运河宝应段东岸,距离南运西闸和北运西闸分别为15.3 km和17.59 km。拟建加气站建设地点河道底高程约1.0 m(国家85高程,下同)、口宽约115 m;东侧淮江公路(省道237),路面宽18.0 m,路面高程11.7 m;滩面宽约60 m,高程8.0 m。站内建设LNG储罐区、LNG加液区、公共服务区,储罐区内布置有1个60 m³LNG储罐、LNG低温泵撬及EAG加热器等;加液区位于码头岸边,共布置有2台LNG加液机;公共服务区内设置配电控制室、空压机房,以满足生产需要。

京杭运河是一条集排涝、灌溉、供水、航运为一体的综合利用河道,京杭运河的里运河段是里下河地区西保护线,保护里下河地区2.22万 km²的面积,117.3万 km²耕地,1476万人口。《江苏省防洪规划报告》中明确规定,里运河东堤堤防近

期防洪标准为100年一遇,远期防洪标准为300年一遇,堤防规划级别为2级^[3](各方对里运河东堤等级界定存在较大分歧,本文采用《江苏省防洪规划报告》中的2级堤防标准)。

里运河区间涝水主要由三部分组成:①白马湖地区涝水经北运西闸下泄及淮安运西电站弃水;②宝应湖下游地区涝水经金宝河、南运西闸下泄;③里下河地区涝水经宝应站抽排入里运河。

根据南水北调东线规划,一期工程长江至洪泽湖段抽江水规模为500 m³/s,入洪泽湖规模为450 m³/s,主要利用运河线和运西线等河道双线输水。按南水北调一期、二期工程规划,运河线拟建加气站建设点最大输水规模为328 m³/s。

根据省政府苏政复(1994)12号文附件“江苏省2至4级航道技术等级表”,京杭运河为2级航道,其中淮安~邵伯船闸段最高通航水位8.5 m、最低6.0 m。根据《内河通航标准》,2级航道最小通航水深4.0 m,通航净宽60 m。目前省航道部门已经完成对京杭运河全线按2级航道标准整治。

2 LNG危险识别及爆炸破坏准则

LNG属易燃易爆物质,与空气混合后能形成爆炸混合物,遇明火、高温能引起燃烧爆炸,是《危险化学品重大危险源辨识》(GB18218-2009)中列出的危险化学品。

正是由于LNG的易燃易爆性,在里运河这样一条重要河道上建设LNG加气站,安全性就显得尤为重要,一旦发生爆炸造成堤防溃坝,将会给河道堤防保护区范围带来灾难性后果。

LNG的危险有害因素有以下三个方面:①易燃易爆性。LNG的主要成分甲烷属一级可燃气体,甲类火灾危险品,爆炸极限为5%~15%(体积比),最小着火点仅为0.28 mJ^[4],燃烧速度快,燃烧值高,一旦发生火灾引发爆炸后难以施救;②低温性。由于LNG的温度极低,正常为-162℃,极度低温能导致相关设备遇冷收缩、焊接缝开裂、阀门失效、脆性断裂等破坏,进而造成泄漏事故;③蒸发性。外界传入的能量会引起LNG的蒸发,LNG储罐设计过程中设置了一个极低的蒸发率,当蒸发的气体量大于储罐能排出的蒸发量后,储罐内的温度、压力就会上升,直至储罐破裂爆炸。其中对河道堤防安全隐患最大的是爆炸。

爆炸对河道堤防的破坏作用主要是由冲击波

产生的,无论是化学性爆炸还是物理性爆炸都会形成冲击波。冲击波的破坏作用可用峰值超压、持续时间和冲量三个特征参数衡量;冲击波破坏准则主要有超压准则、冲量准则和超压—冲量准则等,其中最常用的是超压准则。定量分析爆炸冲击波的破坏作用,先要确定爆炸产生的冲击波超压与爆炸能量间的关系,进而分析不同爆炸情形下产生的冲击波及破坏程度。

3 爆炸对堤防破坏程度分析

3.1 爆炸威力计算

LNG 发生爆炸时释放出的威力与储量及燃烧值有关。计算过程中先将 60 m³LNG 折算成等量威力的标准 TNT 炸药,然后通过爆炸模拟比的放缩,再与 1000 kg 标准 TNT 爆炸参数进行对比,进而分析得出当加气站储罐发生爆炸时,不同距离点对建筑物(堤防)的破坏程度。

LNG 与 TNT 等量转换公式:

$$Q_{TNT} = v \cdot V \cdot \rho \cdot H_c / q_{TNT}$$

式中:

- Q_{TNT} —TNT 当量,单位 kg;
- v —蒸汽云系数,通常取 0.04;
- V —储罐的容积,60 m³;
- ρ —甲烷比重,550 kg/m³;
- H_c —甲烷燃烧值,889.5 kj/kg;
- q_{TNT} —TNT 爆炸时所释放出的能力,一般取

4500 kj/kg。

爆炸模拟比系数:

$$R = R_0 \times \alpha$$

式中:

R —1000 kg 标准 TNT 爆炸时,参数测量点与爆炸点的距离;

R_0 —60 m³LNG 爆炸时,参数测量点与爆炸点的距离。

爆炸模拟比计算公式:

$$\alpha = 0.1 \times Q_{TNT}^{1/3}$$

故 $Q_{TNT} = 0.04 \times 60 \times 550 \times 889.5 / 4500 = 260.92$ kg,即 60 m³LNG 相当于 260.92 kg 标准 TNT 炸药。

3.2 爆炸冲击波超压对堤防的破坏程度

爆炸模拟比: $\alpha = 0.1 \times Q_{TNT}^{1/3} = 0.1 \times 260.92^{1/3} = 0.64$,即 1000 kg 标准 TNT 爆炸时不同测量点冲击波压强值等于 0.64 倍距离点上 60 m³LNG 爆破后冲击波的压强值,详见表 1。表 2 为冲击波超压

对建筑物的破坏作用情况。

表 1 爆炸产生冲击波超压表

1000 kg标准TNT炸药爆炸时所产生的冲击波超压表			60 m ³ LNG爆炸时所产生的冲击波超压表		
序号	距离 R_0 (m)	超压 Δp (MPa)	序号	距离 R_0 (m)	超压 Δp (MPa)
1	5	2.940	1	3.2	2.940
2	6	2.060	2	3.8	2.060
3	7	1.670	3	4.5	1.670
4	8	1.270	4	5.1	1.270
5	9	0.950	5	5.8	0.950
6	10	0.760	6	6.4	0.760
7	12	0.500	7	7.7	0.500
8	14	0.330	8	9.0	0.330
9	16	0.235	9	10.2	0.235
10	18	0.170	10	11.5	0.170
11	20	0.126	11	12.8	0.126
12	25	0.079	12	16.0	0.079
13	30	0.057	13	19.2	0.057
14	35	0.043	14	22.4	0.043
15	40	0.033	15	25.6	0.033
16	45	0.027	16	28.8	0.027
17	50	0.024	17	32.0	0.024
18	55	0.021	18	35.2	0.021
19	60	0.018	19	38.4	0.018
20	65	0.016	20	41.6	0.016
21	70	0.014	21	44.8	0.014

表 2 冲击波超压对建筑物的破坏作用

序号	超压 Δp (MPa)	破坏作用
1	0.005-0.006	门窗玻璃部分破碎
2	0.006-0.015	受压面的门窗玻璃大部分破碎
3	0.015-0.02	窗框损坏
4	0.02-0.03	砖墙墙壁损坏
5	0.04-0.05	砖墙大裂缝,屋瓦掉下
6	0.06-0.07	木结构屋子框架松动
7	0.07-0.10	砖墙倒塌
8	0.10-0.20	防震建筑物破坏
9	0.20-0.30	大型钢结构破坏

通过上述分析计算, 并对比参照表 2^[5] 可知, 当超压小于 0.02 MPa, 即爆炸点距离堤防超过 35 m 时, 爆炸对堤防的影响几乎可以忽略, 当超压大于 0.1 MPa 及安全距离小于 15 m 时, 堤防局部会出现裂缝, 当超压大于 0.2 MPa 及安全距离小于 9 m 时, 堤防就有垮塌的危险。

4 结论及建议

4.1 结论

从储罐出事的概率角度看, 目前国内国际未发生过全容罐泄漏事故, 因此全容罐破裂引起事故的概率极低。从冲击波对堤防破坏程度看, 假设 LNG 储罐发生爆炸, 只要储罐距离堤防超过 35 m, 其冲击波对堤防的影响可以忽略不计。

通过使用中国安全生产科学研究院开发的“重大危险源区域定量风险评价与管理(CASST-QRA)”软件, 对该项目个人、社会及周边环境风险值进行计算, 结果见图 1^[6]。

由图 1 可知, 项目风险曲线落在可容许区域内,

从风险的角度分析, 模拟条件下建设 LNG 船用加气站, 风险可以接受。

拟建 LNG 加气站建设地点, 现状里运河东堤, 堤顶宽约 18 m, 堤防堤基宽约 40 m, 滩面宽约 60 m。再结合项目区地形地貌, 并从项目安全性、技术性、对河道泄洪的影响、与河道管理条例规范适应性及经济性等方面的因数综合考虑后, 场地布置如图 2。

4.2 建议

LNG 加气站对堤防的危害主要是爆炸, 在 LNG 加气站实际运行过程中要防范的危害远不止爆炸; 建设过程中做到安全生产设施与主体工程同时设计、同时施工、同时投入生产和使用。

在 LNG 储罐容积一定的情况下, 爆炸对堤防危害程度取决于储罐与堤防之间的距离。实际建设过程中一定要确保安全距离, 在有条件的情况下, 储罐距离堤防越远越好。

目前 LNG 水运行业的相关规范标准体系不足, 只能参考 2011 年 11 月国家能源局颁布及实施

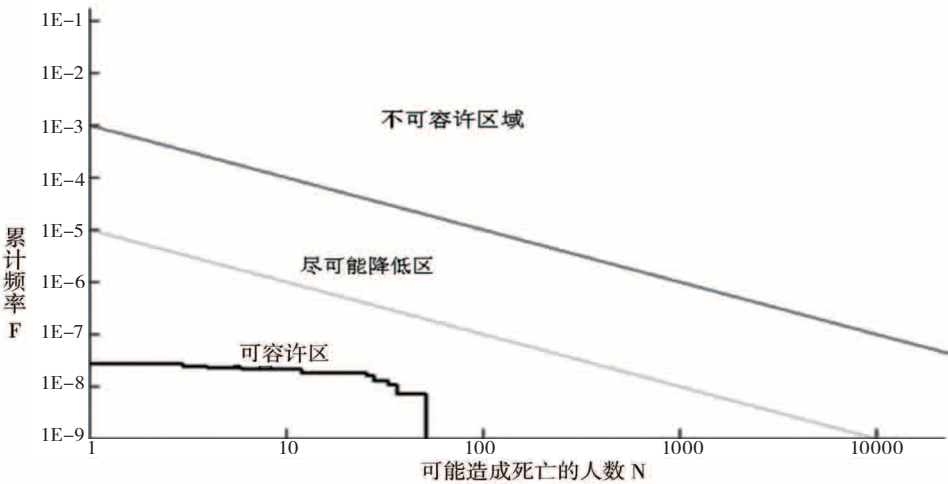


图 1 项目风险曲线

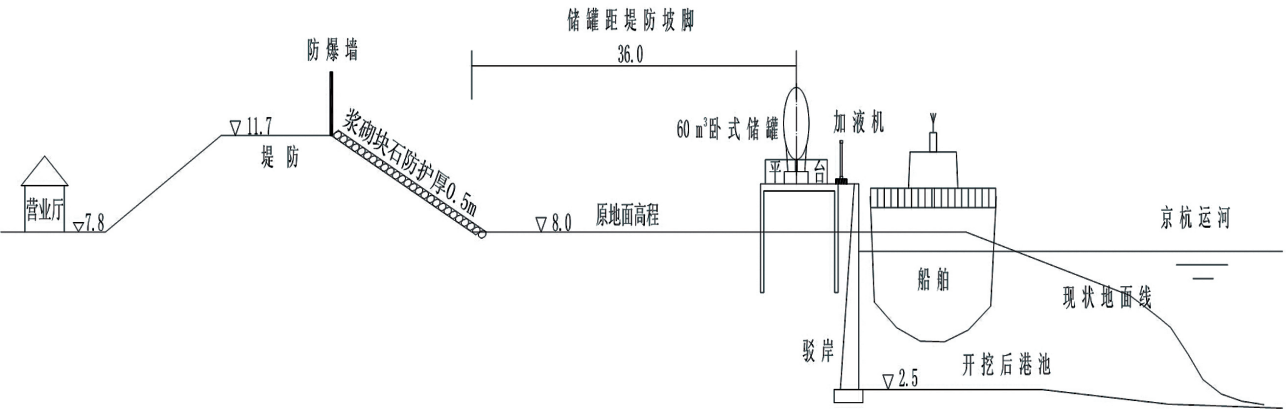


图 2 宝应 LNG 加气站布置图 (下转第 18 页)

