

# 某油气处理厂液化气球罐爆炸危险性分析与评估

韩占方, 牛明勇, 张朋岗, 田 鹏, 刘占锋, 朱昌军

(塔里木油田分公司, 新疆 库尔勒 841000)

**摘要:**液化石油气易燃易爆,特别是液化气生产与储运厂站的安全风险更大。本文首先通过对历史上多起液化气球罐事故原因进行分析,然后介绍了笔者所在单位某油气处理厂液化气球罐概况。为了评估液化气球罐爆炸的危害,论文中采用了较为常用的蒸汽云(UVCE)爆炸理论来对不同液化气储量爆炸能量所造成的危害半径进行计算,并对计算结果进行初步分析和风险评估。最后根据风险评估结果从设备、工艺运行以及辅助系统、员工操作等方面提出预防和控制管理措施,并给出本文的结论。

**关键词:**液化气球罐;蒸气云爆炸;死亡半径;重伤半径;轻伤半径;安全半径

**中图分类号:**X913.4 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-1807(2013)03-0132-04

液化石油气引燃能量在 0.2~0.3mJ,是极易着火的一种可燃物质,燃烧非常迅速。其闪点、自燃点都较低。爆炸极限约为 2%~10%,即爆炸下限较低,爆炸范围宽,与空气混合后遇静电或明火极易爆炸。高度的火灾爆炸危险性,使得液化气储罐的火灾爆炸更是多次发生,并造成巨大财产损失和人员伤亡。液化气储罐爆炸具有危害大、损失大、影响大、难

以扑救的特点。其主要破坏方式有三个:爆炸碎片直接破坏,冲击波超压破坏和热辐射破坏。爆炸后还会造成环境污染和中毒,甚至引发二次事故。

某油气处理厂厂区内安装了 4 个 1 500m<sup>3</sup> 的液化气球型储罐,相邻球罐球心距离 30 米。有关设计参数如表 1 所示。

表 1 某处理厂液化石油气球型储罐设计数据和技术要求

容器类型:三类	容积:1 499m <sup>3</sup>	工作介质:液化石油气(不含 H <sub>2</sub> S)	
工作压力:1.57MPa	工作温度:40℃	介质特性:易燃易爆	充装系数:0.9
设计压力:1.77MPa	设计温度:50℃	腐蚀裕度:2mm	计算风压:600Pa
焊缝系数:球壳 1	液压试验压力:2.11MPa	气密性试验压力:1.77MPa	

本文尝试对液化气球罐若发生爆炸时对人员和周围装置和建筑物造成的危害进行定量计算分析,同时找出可能引发火灾爆炸事故的原因,为预防和危险控制管理提供日常工作的依据,并给出合理化建议。

## 1 单个液化气球罐爆炸影响范围计算

在处理厂内的四个液化气储罐相邻很近,如果一个发生火灾爆炸事故,势必影响另外三个球罐从而引发二次、三次连环爆炸,这属于 BLEVE 爆炸,本节不在详细计算分析,只考虑单个球罐爆炸所释放的能量。由于日常操作中,最易发生的也就是因误操作或球罐应力破坏、阀门垫片密封失效等原因造成的液化气泄漏,当泄漏的液化气在空中扩散,形成蒸汽云,一

旦遇火花或明火即可爆炸,这就是蒸汽云爆炸(UVCE)。本节即基于 UVCE 爆炸理论对爆炸危害范围进行定量计算。

### 1.1 液化气 TNT 当量计算

爆炸能量是用 TNT 当量来表示的,因此目前对液化气火灾爆炸所产生的冲击波超压一般是按照相同能量的 TNT 爆炸所产生的超压来确定。表 2 是 1 吨 TNT 爆炸后距离与超压的实验数据。

下面是 TNT 当量的计算公式<sup>[1]</sup>:

$$W_{TNT} = aW_f Q_f / Q_{TNT} \times 1.8 \quad (1)$$

式中 a=0.04,蒸汽云当量系数;

W<sub>f</sub>=ρV,爆炸燃料(液化气)质量,本文密度值

收稿日期:2012-12-28

作者简介:韩占方(1984—),男,河北邯郸人,中国石油塔里木油田公司天然气事业部,助理工程师,安全工程学士,研究方向:工艺安全技术分析及应用。

取  $510\text{kg}/\text{m}^3$ ;

$Q_f$ , 液化气最大放热量, 一般为  $45\ 185\sim 45\ 980\ \text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ , 本文计算取平均值  $45\ 582\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ ;

$Q_{\text{TNT}}$ , TNT 爆炸最大放热量, 取平均值为  $4\ 500\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ ;

1.8, 地面爆炸系数。

表 2 1 吨 TNT 爆炸时的冲击波超压<sup>[1]</sup>

距离 /m	超压 / $10^5\text{Pa}$	距离 /m	超压 / $10^5\text{Pa}$	距离 /m	超压 / $10^5\text{Pa}$
5	30	16	2.4	50	0.24
6	21	18	1.74	55	0.21
7	17	20	1.29	60	0.184
8	13	25	0.81	65	0.164
9	9.7	30	0.59	70	0.146
10	7.8	35	0.44	75	0.132
12	5.1	40	0.34		
14	3.4	45	0.28		

本文计算范围为液化气球罐的液位  $5\%\sim 90\%$ 。计算结果见表 3。

## 1.2 危害距离计算

爆炸发生后, 其对周围人员和建筑(设备)的破坏主要通过三个方式: 冲击波超压, 热辐射以及爆炸碎片直接破坏和伤害, 其中占  $80\%$  的能量都是以冲击波的形式向外扩散, 所谓冲击波, 即容器破裂时, 高压

气体大量冲击, 使它周围的空气受到冲击而发生扰动, 使温度、压力、密度等发生突变变化, 这种扰动在空气中传播就成为冲击波。最显著的变现在压力上, 是一个随时间、随距离皆衰减的阻尼振荡, 因而它的破坏作用主要是由波阵面上的超压  $\Delta P$  引起的。

根据蒸汽云爆炸冲击波超压计算经验公式<sup>[1]</sup>, 计算如下。

用  $R_1$  表示死亡半径, 则有经验公式

$$R_1/R_0 = (W_{\text{TNT}}/Q_0)^{0.37}$$

式中  $W_{\text{TNT}}$  是液化石油气的 TNT 当量质量,  $\text{kg}$ ,  $Q_0 = 1\ 000\text{kg TNT}$ , 则

$$R_1 = R_0 (W_{\text{TNT}}/Q_0)^{0.37} \quad (2)$$

$R_2$  为 TNT 当量质量  $W_{\text{TNT}}$  时重伤半径,

$$R_2/R_0 = (W_{\text{TNT}}/Q_0)^{1/3}$$

则重伤半径

$$R_2 = R_0 (W_{\text{TNT}}/Q_0)^{1/3} \quad (3)$$

当超压  $\Delta P = 0.3 \times 10^5\text{Pa}$  以下时, 人员轻伤, 记  $R_3$  为轻伤半径, 满足式(3), 此时  $R_0 = 43.3$ 。

当超压  $\Delta P = 0.2 \times 10^5\text{Pa}$  以下时, 人员受轻微作用, 记  $R_4$  为安全半径, 满足式(3), 此时  $R_0 = 57.1$ 。

根据式(2)和(3), 计算得到液位  $5\%\sim 90\%$  时的死亡半径、重伤半径、轻伤半径和安全半径。计算结果如表 3 所示。

表 3 液化气球罐不同液位下的死亡、重伤、轻伤及安全半径

液位 $L/\%$	液化气储量/ $\text{kg}$	TNT 当量/ $\text{kg}$	死亡半径 $R_1$ , $R_0 = 17.2$	重伤半径 $R_2$ , $R_0 = 30$	轻伤半径 $R_3$ , $R_0 = 43.3$	安全半径 $R_4$ , $R_0 = 57.1$
5.0	5 778.16	4 213.89	29.3	48.5	69.9	92.2
10.0	21 639.77	15 781.45	47.7	75.2	108.6	143.2
15.0	46 676.57	34 040.29	63.4	97.2	140.3	185.1
20.0	79 741.66	58 154.00	77.3	116.2	167.8	221.2
25.0	119 688.14	87 286.17	89.9	133.1	192.1	253.3
30.0	165 369.12	120 600.39	101.3	148.2	213.9	282.1
35.0	215 637.70	157 260.26	111.8	161.9	233.7	308.2
40.0	269 346.97	196 429.36	121.3	174.4	251.7	331.9
45.0	325 350.03	237 271.27	130.1	185.7	268.1	353.5
50.0	382 500.00	278 949.60	138.2	196.0	282.9	373.1
55.0	439 649.97	320 627.93	145.5	205.3	296.4	390.8
60.0	495 653.03	361 469.84	152.1	213.7	308.4	406.7
65.0	549 362.30	400 638.94	158.0	221.2	319.2	420.9
70.0	599 630.88	437 298.81	163.2	227.7	328.7	433.4
75.0	645 311.86	470 613.03	167.7	233.4	336.8	444.1
80.0	685 258.34	499 745.20	171.4	238.1	343.6	453.1
85.0	718 323.43	523 858.91	174.4	241.8	349.1	460.3
90.0	743 360.23	542 117.75	176.7	244.6	353.1	465.6

### 1.3 计算说明及结果分析

#### 1.3.1 体积微元积分

对不同液位下液化气体积的计算采用了体积微元积分方法,精度越高计算结果越精确,考虑到爆炸发生时影响因素较多以及数据量的控制,计算时的划分精度为球罐直径的 1%,即 0.142m。如图 1 所示

$$\Delta V = \frac{1}{2} \cdot (S_1 + S_2) \cdot \Delta h \quad (4)$$

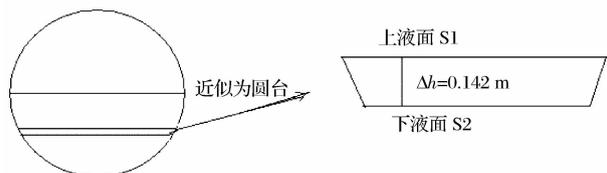


图 1 体积微元

#### 1.3.2 计算数据分析

根据上节计算结果表 3 数据做  $L \sim R_1, R_2, R_3, R_4$  的曲线图,即可通过曲线直接查询液位 5%~90%内任意值的各危害半径和安全半径,如图 4 所示。

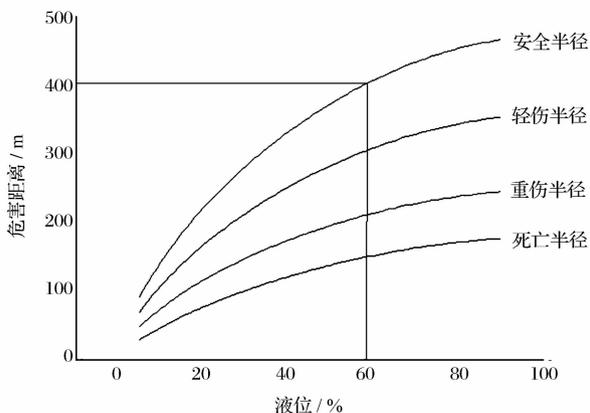


图 2 液化气球罐充装液位与危害半径变化趋势

从计算结果及曲线图可以看到这样的趋势,当液位较低时,危害半径较小,随着液位增加,各危害半径和安全半径增长趋缓,但分歧越来越大,其中死亡半径增长最平缓,而安全半径变换最明显。

该处理厂有两个主要的人员集中点:处理厂内主控室、化验室、维修间,处理场外员工生活公寓,其中主控室、化验室、维修间相邻较近,与液化气罐区的距离约 400 米,从计算结果看,当球罐液位 58%时,安全半径为 400.6 米,即主控室、化验室及维修班人员处于安全区域,所以运行期间应控制液位在 58%以下,最好是液化气及时外输,尽量少储存。当球罐液位为最大值 90%,达到球罐充装系数,此时的安全距

离为 465.6 米,而员工公寓距离作业区距离远大于这个距离。

爆炸发生时往往是液化气泄漏一定量,而非全部泄漏,所以蒸汽云爆炸液化气 TNT 当量应在原数据上乘以某个系数,有研究者取 0.3~0.5,本文计算结果上,对于死亡半径,乘以该系数的 0.37 次方,对于重伤、轻伤及安全半径,乘以该系数的 1/3 次方,由于无法确定系数值,且从安全的角度讲,选择最保守的情况,本文未考虑泄漏系数。

## 2 爆炸危害的预防和控制管理

根据以上实验及计算结果,笔者建议做好以下几个方面的工作。

1)液化气及时外输,减少库存,降低球罐液化气储量。四个球罐有管线进行气相压力平衡,同时有倒灌流程可以做到四个球罐液位相当,降低单个球罐储量,从而减小危险源。

2)确保罐区消防系统正常可靠。

3)球罐根部法兰、垫片、阀门是最易发生泄漏的地方,这些设备和管材都是从指定厂商采购,有严格的质量控制。同时加强日常维护。

4)安全附件完整,包括安全阀、液位计、温度表、压力表等。设置可燃气体探测器,实时监测可燃气体浓度,及时发现液化气泄漏。

5)运行人员熟悉工艺流程和设备使用,控制好上游流程轻烃回收装置脱丁烷塔顶气的压力、温度等参数。

6)编制应急预案,定期演练。

## 3 结论

1)液化气具有易燃易爆特性,若发生火灾或爆炸事故,将对生产和人身安全造成极大危害。在爆炸事故原因中,因球罐根部法兰、垫片失效导致液化气泄漏后积聚,遇静电明火燃烧爆炸居多,因此加强对球罐根部法兰密封性检查至为关键。由于爆炸的危害距离随着发生爆炸的液化气 TNT 当量质量增加而显著增大,因此应及时外输,控制液化气库存保持在较低水平。

2)最保守的冲击波超压分析,58%的液位以下,控制室和化验室、维修班的人员在爆炸事故发生后是绝对安全的。

3)爆炸对周围设备的影响可能引发二次事故,液化气的持续燃烧所产生的热辐射对耐辐射强度低的设备管线危害较大,爆炸碎片抛射的不确定性也加重了事故的危害性。

4)确保日常运行的安全平稳,做好危险控制是防

止事故发生的重要所在。平时要多举行事故应急演练,提高员工的事事故应急处理能力和心理素质。

工,2004(1):46-48.

### 参考文献

[1] 程中林. 液化石油气罐区火灾爆炸分析与评价[J]. 安徽化

## Analysis and Assessment on the Risk of Explosion of Liquefied Petroleum Gas Spherical Tanks of a Processing Plant

HAN Zhan-fang, NIU Ming-yong, ZHANG Peng-gang, TIAN Peng, LIU Zhan-feng, ZHU Chang-jun

(Tarim Oil Field Company, Korla Xinjiang 841000, China)

**Abstract:** Given to the flammability and combustibility of liquefied petroleum gas, especially to its safety risk during producing, storing and transporting, this article for one thing launched in-depth analysis on a number of LPG spherical tank accidents in the past, then introduce a general description of LPG spherical tanks of a oil gas processing plant, where the author belongs. In order to undertake assessment on the danger the explosion of LPG spherical tanks, this article employed commonly-used UVCE explosion theory to carry out calculations on the hazard radius launched by the explosive energy of several LPG spherical tanks of distinct reserves. Besides, a preliminary analysis as well as a risk assessment was figured out via the calculation results. Finally, our paper's conclusion was presented and a set of preventing and controlling management measures were submitted in terms of the running of equipment and technique, the assisting system and workers' operations according to the result of risk assessment.

**Key words:** LPG spherical tank; vapor cloud explosion; death radius; GBH radius; minor injury radius; safety radius

(上接第 128 页)

## The Enlightenment of Our Country Rating Regulation Model from the International Credit Rating Supervision System

CAI Lu

(School of Economics, Liaoning University, Shenyang 110036, China)

**Abstract:** This paper mainly studies the core value of the international credit rating supervision system, and the influence on related industries in our country, with the literature method, experience summary method, case analysis, comprehensive induction and so on. It draws the following basic conclusion: for a long time, Standard & Poor's, Moody's and Fitch ratings almost monopolize 90% of the world's rating business. with the establishment of world credit rating group in 2012, it will be expected to end the monopoly of three international credit rating corporations, and will create a new international rating organization. Take this opportunity, our country should make great efforts to accelerate the development of domestic credit rating industry, ensure the implementation of authentication system in advance, stick to the behavior norms in process and enhance the international competitiveness.

**Key words:** credit rating; supervision system; capital market; enlightenment