

# 油库防爆墙设置探讨

徐晓琴<sup>1</sup> 张吉春<sup>1</sup> 秦璇<sup>2</sup>

1.国内贸易工程设计研究院,北京 100069 2.西南石油大学,四川 成都 610500

## 摘要:

某油库扩容改建中发现,铁路正线与现有油库的安全距离不能满足《铁路运输安全保护条例》相关规定,迫切需要采取有效措施,确保铁路运输安全和油库的正常扩容生产。通过对池火灾和爆炸性蒸汽云的研究,对油库槽车或油库罐区的危险性进行定量分析。结果显示在不设置任何保护措施的前提下,油库或槽车的火灾爆炸事故会对铁路正线的安全运行造成危害。防爆墙的应用则能有效削减火灾爆炸事故对铁路运输安全的威胁。分析计算表明,等效水平荷载按  $4\text{ t/m}^2$  考虑时,具有特殊构造的防爆墙可发挥最优化功效。此研究结论对解决类似问题具有参考意义。

## 关键词:

油库;防爆墙;危险性;解决方案

## 文献标识码:A

文章编号:1006-5539(2011)05-0081-04

## 0 前言

《铁路运输安全保护条例》第十七条要求“任何单位和个人不得在铁路线路两侧距路堤坡脚、路堑坡顶,铁路桥梁外侧 200 m 范围内,或者铁路车站及周围 200 m 范围内,及铁路隧道上方中心线两侧各 200 m 范围内,建造、设立生产、加工、储存和销售易燃、易爆或者放射性物等危险物品的场所、仓库。但是根据国家有关规定设立的为铁路运输工具补充燃料的设施及办理危险货物运输的除外”。作者在进行某油库安全扩容改造设计时,由于该库办理铁路运输发运资质增项,需要经过铁路部门危化品咨询中心作相关可行性报告,咨询单位提出按“条例”执行。由于该库于 1992 年投产,油库与周围工矿企业、民居等安全距离按《石油库设计规范》等当时有效的规范进行设计、施工,GB 50074-2002《石油库设计规范》表 4.0.7 中石油库与铁路正线的最大安全距离为 60 m,其后铁路正线扩建,

目前铁路正线与油库专用线的最小距离为 37 m。据不完全统计,目前我国尚有约 300 座各类油库都存在此类情况,且以国有资产为主。随着石油消费市场不断扩大,为尽快盘活国有资产,增强企业的核心竞争力,大多数油库须扩容或进行安全改造。对油库进行危险源分析时,提出解决方案:在油库与铁路正线相邻一侧建防爆墙一座,以保障铁路正线的安全运行<sup>[1-3]</sup>。

## 1 油库主要危险性分析

油库主要储存汽油和柴油。汽、柴油属易燃易爆品,按《危险化学品名录》、GB 13690-1992《常用危险化学品的分类及标志》的要求,汽油具有易燃液体的化学性危险和有害因素,危险货物编号 CN31001。

按 GB 50074-2002《石油库设计规范》中表 3.0.2“石油库储存油品的火灾危险性分类”,汽油属甲类且具有爆炸火灾危险性;轻柴油属乙 B 类。

## 收稿日期:

2011-07-12

## 作者简介:

徐晓琴(1963-),女,贵州贵定人,学士,1985年毕业于西南石油学院油气储运专业,长期从事石油工艺、压力管道、消防等专业的设计、审核、审定等工作。

油库汽、柴油在进行收发、储存、输转油品等装卸作业时,在储罐、火车装车鹤管及管道、阀门设备出现异常或操作失误时可能泄漏出来,迅速挥发形成可燃性混合气体,易燃液体蒸气与空气的混合物浓度达到爆炸浓度,若此时遇到设备老化漏电短路火花、静电火花、运动机械碰撞火花或违规在油气存在场所焊接作业、使用明火等情况就会爆炸<sup>[3]</sup>。

由于油库内储存的易燃液体数量已构成重大危险源,若发生易燃油品爆炸火灾事故,可能导致重大事故发生,会对周边环境尤其对铁路安全运输造成重大隐患。因此我们重点分析油罐区发生事故对周边环境的影响,保证油库与周边设施的安全距离满足国家相关规定要求<sup>[1-6]</sup>。

### 1.1 池火灾分析

油库内危险性较大的事故就是油罐漏油,此时油罐防火堤把油截留在防火堤内,遇火源、静电火花等会发生燃烧事故,产生池火灾,采用池火灾伤害数学模型分析法进一步确定影响程度。

#### 1.1.1 油罐区

储罐区防火堤为梯形,当一个3 000 m<sup>3</sup>内浮顶汽油储罐罐体一旦发生破裂、管道阀门泄漏或操作失误后,大量的汽油很快泄漏到防火堤内,形成液池,遇引火源形成池火。

##### 1.1.1.1 池火火焰高度计算

$$h=84r\left(\frac{dm/dt}{\rho_0(2gr)^{1/2}}\right)^{0.6}$$

式中  $h$ ——火焰高度,m;

$r$ ——液池当量圆半径,m;

$\rho_0$ ——周围空气密度,kg/m<sup>3</sup>;

$g$ ——重力加速度,m/s<sup>2</sup>;

$dm/dt$ ——燃烧速度,kg/m<sup>2</sup>·s;

经计算,罐区池火燃烧火焰高度  $h=42.3$  m

##### 1.1.1.2 池火燃烧时放出的总热辐射通量

$$Q=(\pi r^2+2\pi rh)dm/dt\cdot\eta H_c/(72(dm/dt)^{0.6}+1)$$

式中  $Q$ ——总热辐射通量,W;

$\eta$ ——效率因子,取0.13~0.35;

$H_c$ ——液体燃烧热,查物质系数和特性表,汽油的(近似值)燃烧热为45 980 kJ/kg。

计算后得汽油储罐泄漏后发生火灾的总热辐射通量  $Q=411\ 062$  kW

##### 1.1.1.3 目标入射热辐射强度

距离池中心某一距离( $x$ )处的入射热辐射强度为:

$$I=\frac{Qt_c}{4\pi x^2}$$

式中  $I$ ——热辐射强度,kW/m<sup>2</sup>;

$Q$ ——总热辐射通量,kW;

$t_c$ ——热传导系数,取值为1;

$x$ ——目标点到液池中心距离,m。

取  $I=37.5$ 、25、12.5、4.0、1.6 时计算  $x$  值。计算结果见表1。

表1 不同距离下热辐射强度模拟值

| 热辐射强度/kW·m <sup>-2</sup> | 距离 /m |
|--------------------------|-------|
| 37.5                     | 29.5  |
| 25                       | 36.2  |
| 12.5                     | 51.2  |
| 4.0                      | 90.5  |
| 1.6                      | 143   |

火灾损失:火灾通过热辐射方式影响周围环境。当火灾产生的热辐射强度足够大时,可使周围的物体燃烧或变形,强烈的热辐射可能烧毁设备甚至造成人员伤亡等。

火灾损失估算建立在热辐射强度与损失等级的相应关系上,池火灾伤害数学模型分析法介绍了不同热辐射强度造成伤害和损失的关系,其关系见表2。

表2 池火灾后不同热辐射强度造成的伤害和损失结果

| 入射通量/<br>kW·m <sup>-2</sup> | 池火距<br>离 /m | 对设备的损害                 | 对人的损害                       |
|-----------------------------|-------------|------------------------|-----------------------------|
| 37.5                        | 9.77        | 操作设备全部破坏。              | 10 s,1%死亡;<br>1 min,100%死亡。 |
| 25                          | 14.65       | 在无火焰、长时间的辐射下木材燃烧的最小能量。 | 10 s,重大烧伤;<br>1 min,100%死亡。 |
| 12.5                        | 17.12       | 有火焰时,木材燃烧,塑料熔化的最小能量。   | 10 s,1度烧伤;<br>1 min,1%死亡。   |
| 4.0                         | 30.26       |                        | 20 s 以上感觉痛,<br>未必起泡。        |
| 1.6                         | 47.84       |                        | 长时间辐射无不<br>舒服感觉             |

由表2计算结果可知:罐区内3 000 m<sup>3</sup>汽油储罐泄漏发生燃烧后,距罐池火灾中心半径在29.5 m范围内的设备将全部破坏,人员全部死亡;

半径在29.5~36.2 m范围内人员在1 min内撤不出则全部死亡;

半径在36.2~51.2 m范围内的设备将受到不同程度的损坏,人员严重烧伤,在1 min内撤不出的人员将有1%死亡率;

半径在51.2~90.5 m范围内人员有不同程度的烧



伤;

半径在 90.5~143 m 范围内人员较安全不致引起较大伤害;

铁路正线到罐区液池中心实际距离为 162 m, 大于 143 m, 因此铁路正线在油库火灾事故时是安全的。

### 1.1.2 铁路槽车破裂形成池火

以铁路收卸汽油为例, 铁路一次收卸汽油最多车辆为 54 个车皮 (每个油槽车载重按 60 t 考虑), 一次最大收卸汽油 2 916 t (充装系数 0.9)。当发生事故时, 如果油罐车发生爆炸, 罐体可能发生裂口, 油罐车内液体将流淌至地面, 并顺地沟排至事故应急处理池, 形成池火状态, 池火火焰产生的热辐射将造成周边人员伤亡、财产损失。用池火灾模型进行计算, 目的是为了分析铁路槽车池火可能造成破坏的程度, 以便在建立应急预案中参考。

铁路槽车发生爆炸裂口, 形成火灾最多可能造成前后相邻两罐的爆炸、火灾, 将有 225 m<sup>3</sup> 汽油会流入到事故应急池内, 形成 300 m<sup>2</sup> 池火 (每个油槽车长度 10 m、直径 2.8 m 造成的池火灾面积范围按 6 m×50 m 考虑), 周边其他槽车罐必须采取降温等措施, 防止池火扩大。

铁路正线到铁路装卸栈桥槽车实际距离约 40 m, 大于 30.26 m, 因此铁路正线在油库铁路槽车装卸发生火灾事故时是安全的。

### 1.1.3 池火灾分析结果

#### 1.1.3.1 储罐池火灾分析结果

a) 发生池火灾时, 仅在池壁下风向很小范围内的热辐射强度达到或超过 37.5 kW/m<sup>2</sup>, 绝大部分区域的热辐射强度都达不到 37.5 kW/m<sup>2</sup>, 表明这样规模的池火对周围岸边地面人员或设备设施不会造成严重破坏。不过, 当有风时, 飘移的火焰可能对近距离油罐产生烘烤作用, 造成近距离油罐内油品加速蒸发, 甚至引发新的火灾爆炸事故。

从计算结果看出, 在距离池火 30.26 m 范围内属于危险区域, 以外区域危险程度逐步下降。

b) 无风时, 油池周围的热辐射强度是均匀分布的, 火在油罐罐区上燃烧; 有风时, 上风向的热辐射强度显著减弱, 下风向同样距离处的热辐射则显著加强。

c) 一旦发生池火灾, 灭火人员站在上风向是相对安全的, 可以有效地避免热辐射伤害。

d) 需要说明的是, 池火灾计算方法, 主要针对热辐射进行, 且对池火的燃烧情形作了简化处理, 并假定池火一直在稳定燃烧。事实上, 油罐发生火灾事故时, 罐顶薄弱部分首先开裂, 燃烧、爆炸交替进行。当

发生池火时, 往往是油品沸腾突溢或储罐开裂严重等原因, 最终导致火灾升级, 这时危害就不仅限于热辐射危害了, 可能会导致流淌的火势, 严重威胁周边生产单位和居民的安全。

#### 1.1.3.2 铁路槽车池火灾分析结果

从表 2 计算结果看出, 在距离池火 9.77 m 范围内, 属于危险区域, 以外区域, 危险程度逐步下降。铁路正线在油库发生池火灾时不会受到影响。

### 1.2 爆炸性蒸气云分析

油库除池火灾事故外, 还可能发生油品泄漏后形成蒸气云团遇火源发生爆炸的危险, 可能发生在罐区或铁路装卸油区。

#### 1.2.1 爆炸对 37 m 处铁路正线的冲击压力

计算 60 t 汽油油槽车发生泄漏, 泄漏量按 350 kg (占油槽车容量 0.58 %) 考虑, 经蒸发全部形成油蒸气, 遇点火源发生爆炸事故的危害范围。

蒸气云爆炸 TNT 当量:

$$W_{\text{TNT}} = a W_f Q_f / Q_{\text{TNT}}$$

式中  $a$ ——可燃气体蒸气云的当量系数;

$W_f$ ——汽油泄漏量, kg;

$Q_f$ ——汽油燃烧热, kJ/kg;

$Q_{\text{TNT}}$ ——TNT 爆炸热。

经计算  $W_{\text{TNT}}=13.77$  kg, 距爆炸中心  $R=37$  m 处的冲击波超压;

炸药爆炸试验的模拟比  $\alpha=(13.77/1\ 000)^{1/3}=0.24$

在 1 000 kg TNT 爆炸试验中的相当距离  $R_0=R/\alpha=154.2$  m;

根据《安全评价员使用手册》中 13.77 kg TNT 爆炸时 10 m 处的 (相当于 1 000 kg TNT 爆炸时 154.2 m 处的) 冲击波超压小于 0.013 MPa, 得知爆炸波超压在 0.006~0.015 MPa 范围内人员无伤害, 受压面的门、窗玻璃大部分破碎。

综上所述, 铁路油槽车泄漏量 350 kg 产生蒸气云发生爆炸事故时, 铁路正线将受到损害。

#### 1.2.2 爆炸对 162 m 处铁路正线的冲击压力

计算 3 000 m<sup>3</sup> 汽油油罐发生泄漏时, 若泄漏量按 12 960 kg (占油罐容量 0.6 %) 考虑, 经蒸发形成油蒸气, 遇点火源发生爆炸事故的危害范围, 经计算  $W_{\text{TNT}}=509.82$  kg, 距爆炸中心  $R=162$  m 处的冲击波超压; 炸药爆炸试验的模拟比  $\alpha=(509.82/1\ 000)^{1/3}=0.799$ , 在 1 000 kg TNT 爆炸试验中的相当距离  $R_0=R/\alpha=203$  m;

计算结果表明, 油罐泄漏量 12 960 kg, 产生蒸气云爆炸时, 铁路正线将受一定损害。

从以上分析看出, 为保证铁路正线安全运行, 需

设置防爆墙。

## 2 防爆墙冲击波值的确定

防爆墙冲击波的确定与发生爆炸危险源的距离有关,防爆墙设计方案基本条件:铁路油槽车距拟建防爆墙的距离为10 m,油罐区距拟建防爆墙最不利距离为33 m。

### 2.1 爆炸对10 m处防爆墙的冲击压力

计算60 t油槽车汽油泄漏,泄漏量按350 kg(占油槽车容量0.58%)考虑,经蒸发全部形成油蒸气,遇点火源发生爆炸事故的危害范围。经计算 $W_{TNT}=13.77$  kg,计算距爆炸中心 $R=10$  m处的冲击波超压;炸药爆炸试验的模拟比 $\alpha=0.24$ ,在1 000 kg TNT爆炸试验中的相当距离 $R_0=42$  m;

根据《安全评价员使用手册》中13.77 kg TNT爆炸时10 m处的(相当于1 000 kg TNT爆炸时42 m处的)冲击波超压为0.031 MPa。

### 2.2 爆炸对33 m处防爆墙的冲击压力

计算3 000 m<sup>3</sup>油罐(汽油)泄漏量按12 960 kg考虑,经蒸发形成油蒸气,遇点火源发生爆炸事故的危害范围。经计算 $W_{TNT}=509.82$  kg,计算距爆炸中心 $R=33$  m处的冲击波超压;炸药爆炸试验的模拟比 $\alpha=0.799$ ,在1 000 kg TNT爆炸试验中的相当距离 $R_0=42$  m;

根据《安全评价员使用手册》中509.82 kg TNT爆炸时距爆炸中心最近33 m防爆墙处的(相当于1 000 kg TNT爆炸时42 m处的)冲击波超压为0.031 MPa。

由此可知,防爆墙等效水平荷载须按4 t/m<sup>2</sup>考虑才能满足使用要求。

通过对多年来油库事故发生部位统计分析发现,油罐发生着火爆炸事故的数量约占油库各种事故数量的11%,油槽车(含铁路油槽车、汽车油槽车、油船)发生着火爆炸事故的数量约占油库各种事故数量的8.4%,其他为油泵、管线等发生的着火爆炸、设备损坏等事故<sup>[2]</sup>;从调研的结果看,大部分铁路油槽车火灾爆炸事故都发生在油品装卸过程中,事故原因绝大多数是操作失误或不严格执行操作程序,我国现行的《石油库设计规范》要求,油槽车栈桥距离油库周界围墙距离为11.25~15 m,从事故统计数据来看,绝大多数油槽车发生事故波及的范围都未超过围墙周界,故工程中栈桥区域设置高5.3 m钢筋混凝土的防爆墙是能起到阻隔作用,确保油库一侧国家铁路正线的安全运

行。

综上分析,油槽车及油罐泄漏产生的蒸气云爆炸对钢筋混凝土防爆墙产生的冲击波超压为0.031 MPa,故本次防爆墙设计方案中等效水平荷载按4 t/m<sup>2</sup>考虑是能满足使用要求的。

## 3 防爆墙结构设计方案

a)在铁路正线相邻一侧新建钢筋混凝土的防爆墙,防爆墙按爆炸力引起水平荷载4 t/m<sup>2</sup>考虑,且墙顶高度按铁路专用线轨顶以上5.3 m考虑,防爆墙的长度按实际需要确定。

b)采用钢筋混凝土墙及钢筋混凝土基础,墙采用250 mm厚,则每4 m设一钢筋混凝土立柱支承,钢筋混凝土C30,钢筋HRB400;基础垫层钢筋混凝土C15厚100 mm;如围墙较长,则每30~35 m左右沿墙设一道温度缝,缝宽25 mm,以防爆炸气浪冲击,设置成企口缝。

## 4 结论

通过对某油库的池火灾和爆炸性蒸汽云分析,得知如果不设置任何保护措施,一旦油库槽车或油库库区发生火灾爆炸等事故,将直接影响铁路正线的安全运行,因此提出在油库和铁路之间设置防爆墙,同时对防爆墙冲击波的确定提供了计算依据,对防爆墙的结构形式提出具体要求。本文的研究思路和结论为解决类似问题提供参考。

### 参考文献:

- [1] 李美庆.安全评价员实用手册[M].北京:化学工业出版社,2007.
- [2] 马秀社.油库工作数据手册[M].北京:中国石化出版社,2011.
- [3] 蒋军威.危险化学品安全技术与管理[M].北京:化学工业出版社,2009.
- [4] 赵华田,邓 焯.天然气处理厂建筑防火设计要点[J].天然气与石油,2011,29(1):70~74.
- [5] 刘晋萍,朱华荣.大型油气处理厂消防系统的设计[J].天然气与石油,2009,27(3):42~44.
- [6] 王天禄,李清英,苟占和.油气生产场所电气防火、防爆分析[J].天然气与石油,2008,26(4):57~60.