

加油站储罐火灾与爆炸危险区域分析

周德红, 赵 宁

(武汉工程大学环境与城市建设学院, 湖北 武汉 430074)

摘 要:汽车加油站储罐区是加油站涉及油品最多的区域, 油品均属于易燃液体, 发生火灾、爆炸事故的概率较大, 而且一旦发生事故, 后果相当严重. 针对汽车加油站平面布局的合理性问题, 提出了池火灾数学模型计算罐区火灾的事故后果; 根据不同热辐射值对人体的伤害和周围设备的破坏情况, 推导出不同危险情况下的危险距离; 采用蒸气云爆炸数学模型计算油罐区发生爆炸的爆炸能量, 选用 G·M 莱克霍夫计算公式, 依据爆炸事故产生的爆炸冲击波对周围建筑物和人员的伤害程度进行评估, 计算出危险距离. 加油站发生火灾和爆炸波及的危险距离对于确定加油站的选址、建设、平面布局、风险控制等有很重要的意义. 同等危险情况下, 爆炸危险区域大于火灾危险区域, 即爆炸的安全距离大于火灾的安全距离, 所以汽车加油站储罐区周边设置其他建构筑物或设备设施时, 可以根据此算法, 重点考虑储罐区发生爆炸波及的危险区域.

关键词:危险半径; 火灾; 风险; 爆炸

中图分类号: X937

文献标识码: A

doi: 10.3969/j.issn.1674-2869.2013.01.002

0 引 言

近几年国内外均发生了多起汽车加油站储罐由各种原因引起的火灾、爆炸事故. 汽车加油站储罐区是加油站涉及油品最多的区域, 油品均属于易燃液体, 发生火灾、爆炸事故的概率较大, 而且一旦发生事故, 后果相当严重. 因此, 对加油站储罐火灾、爆炸的危险区域进行研究, 从而确定储罐区的平面布局和各相邻建筑物的防火间距是很有必要的. 通过合理确定加油站的安全间距, 对汽车加油站安全设计、应急救援、防火防爆、安全管理均有十分重要的意义, 继而从根本上减少加油站事故的发生.

1 加油站火灾事故危险区域风险计算分析

汽车加油站储罐区储存的汽油、柴油易引起火灾事故, 根据泄漏的油品可以用池火灾模型计算火灾热辐射危害区域. 本文以武汉市黄陂区某汽车加油站拟建站火灾事故风险为例, 该加油站位于武汉市黄陂区环城新村四组, 总用地面积 3 840.25 m², 拟建总建筑面积为 494 m². 拟建储存设施为储油罐 (5 个 30 m³ 埋地油罐, 其中 2 个柴油罐, 3 个乙醇汽油罐), 总储存容积为 150 m³,

安全容积为 120 m³ (柴油容积折半计算). 集中采用防腐地下覆土埋设, 总储量 150 m³. 基于地质状况及周边环境, 并保持防火距离, 拟将储油罐集中敷设在加油站的北部. 在储存区中涉及的最主要危险物质有乙醇汽油、柴油, 设计的最大储存量为乙醇汽油 71.1 t, 柴油 54 t. 该加油站储罐型号为 HG5-1580-85 卧式储罐, 其尺寸见表 1.

表 1 HG5-1580-85 尺寸表

Table 1 Size about HG5-1580-85

容积/m ³	筒体直径/mm	长度/mm	筒体厚度/mm	封头厚度/mm
30	2 400	6 000	8	8

为了方便计算, 将储罐完全看做成一圆柱体, 长度为 6 000 mm, 筒体直径为 2 400 mm.

根据危险最大化原则, 对储罐区的汽油储罐进行统一计算, 并且对于池火燃烧面积也采用最大面积, 最大面积等于油罐长和直径的乘积.

由 $\pi r^2 = 3dL$ 计算出液池当量圆半径, 得:

$$r = \sqrt{\frac{3dL}{\pi}} = \sqrt{\frac{3 \times 2.4 \times 6}{\pi}} = 3.71 \text{ m}$$

汽油的燃烧速度与多种因素有关, 储罐直径、水的含量、液面高度的下降、风速、燃烧区传给液体的热量等都会对汽油的燃烧速度产生影响.

实际中燃烧速度可以通过经验公式估算出

收稿日期: 2012-08-16

基金项目: 武汉工程大学科学研究基金 (13125041)

作者简介: 周德红 (1978-), 男, 安徽宿松人, 讲师, 博士. 研究方向: 安全系统理论与应用, 化工安全.

来,也可以通过采样模拟测定汽油燃烧速度,还可以通过查询手册得到。

通过查手册得汽油的燃烧速度 $\frac{dm}{dt}$ 为 92 kg/($m^2 \cdot h$)^[1], 换算即为 0.025 6 kg/($m^2 \cdot s$), 周围空气密度 ρ_0 为 1.19 kg/ m^3 。

油罐火灾火焰高度取决于油罐直径和油罐内储存的油品种类。由计算池火火焰高度的经验公式^[1]:

$$h = 84r \left[\frac{dm/dt}{\rho_0 \sqrt{2gr}} \right]^{0.61} \quad (1)$$

得油罐火灾火焰高度为:

$$h = 84 \times 3.71 \left[\frac{0.0256}{1.19 \sqrt{2 \times 9.8 \times 3.71}} \right]^{0.61} = 8.10 \text{ m}$$

假定能量由圆柱形火焰侧面和顶部向周围均匀辐射,由计算热通量的公式^[1]:

$$Q = \frac{(\pi r^2 + 2\pi rh) \frac{dm}{dt} \eta \Delta H_c}{72 \left(\frac{dm}{dt} \right)^{0.61} + 1} \quad (2)$$

得油罐热通量为:

$$Q = \frac{(\pi \times 3.71^2 + 2\pi \times 3.71 \times 8.10) \times 0.0256 \times 0.24 \times 43728.8}{72 \times 0.0256^{0.61} + 1}$$

$$= 7005.86 \text{ W}$$

如果液池中心的小球面把辐射热全部辐射出来,那么,距离液池中心距离 x 处的人射辐射强度计算公式为:

$$I = \frac{Q_{tc}}{4\pi x^2} \quad (3)$$

根据热辐射值对人体的伤害和周围设施的破坏情况,由火灾热辐射通量“伤害—破坏”准则,推导出不同危害情况下的危害距离,即:

$$x = \sqrt{\frac{Q_{tc}}{4\pi I}} \quad (4)$$

由以上公式计算得:

当 $I = 37.5 \text{ W}/m^2$ 时,

$$x = \sqrt{\frac{7005.86 \times 1}{4\pi \times 37.5}} = 3.86 \text{ m};$$

当 $I = 25.0 \text{ W}/m^2$ 时,

$$x = \sqrt{\frac{7005.86 \times 1}{4\pi \times 25.0}} = 4.72 \text{ m};$$

当 $I = 12.5 \text{ W}/m^2$ 时,

$$x = \sqrt{\frac{7005.86 \times 1}{4\pi \times 12.5}} = 6.69 \text{ m};$$

当 $I = 4.0 \text{ W}/m^2$ 时,

$$x = \sqrt{\frac{7005.86 \times 1}{4\pi \times 4.0}} = 11.80 \text{ m};$$

当 $I = 1.6 \text{ W}/m^2$ 时,

$$x = \sqrt{\frac{7005.86 \times 1}{4\pi \times 1.6}} = 18.67 \text{ m}.$$

将所计算出的结果导入不同热辐射引起人体的伤害及设备破坏表见表 2^[2]。

表 2 不同热辐射值引起对人体的伤害及设备的破坏
Table 2 Human and equipment injury according to different thermal radiation values

序号	对人员的危害	入射通量 $I/(W/m^2)$	危害距离 x/m
1	1%死亡, 10 s; 100%死亡, 1 min	37.5	3.86
2	重大损伤, 1/10 s; 100%死亡, 1 min	25.0	4.72
3	1度烧伤, 10 s; 1%死亡, 1 min	12.5	6.69
4	20 s 以上感觉疼痛, 未必起泡	4.0	11.80
5	长期辐射, 无不舒服感	1.6	18.67

2 加油站爆炸危险区域风险分析

从能量释放的角度出发,对加油站爆炸后果进行风险分析,依据爆炸事故产生的爆炸冲击波对周围设备和人员的伤害程度进行评估。

根据以上实例,该汽车加油站储罐汽油量按最大设计量 71.1 t 计算。

把该加油站中汽油储罐看成一个整体,并假设同时发生爆炸,将汽油罐的中心作为爆炸原点,不考虑储油罐之前发生爆炸的相互影响和前后顺序。此处只针对火灾爆炸的影响程度,不考虑发生爆炸后可能发生的二次事故造成的影响程度。

根据计算储罐爆炸能量的公式^[3]:

$$W_{TNT} = \frac{\alpha W_f Q_f}{Q_{TNT}} \quad (5)$$

计算加油站 TNT 当量,得:

$$W_{TNT} = \frac{0.04 \times 71.1 \times 43.7288}{4.52} = 27.51 \text{ kg}$$

根据莱克霍夫计算公式,莱克霍夫砂质土壤中的冲击波超压与距离关系的经验公式^[4]为:

$$P = 0.8 \left[\frac{R}{\sqrt[3]{W_{TNT}}} \right]^{-3} \quad (6)$$

通过转换计算半径,得:

$$R = (8W_{TNT}/10P)^{1/3} \quad (7)$$

通过公式(6)和(7),可以计算人员伤害范围:

当 $P=0.02$ MPa 时,

$$R = \left(\frac{8 \times 27.51}{10 \times 0.02} \right)^{\frac{1}{3}} = 10.32 \text{ m};$$

当 $P=0.03$ MPa 时,

$$R = \left(\frac{8 \times 27.51}{10 \times 0.03} \right)^{\frac{1}{3}} = 9.02 \text{ m};$$

当 $P=0.05$ MPa 时,

$$R = \left(\frac{8 \times 27.51}{10 \times 0.05} \right)^{\frac{1}{3}} = 7.60 \text{ m};$$

当 $P=0.10$ MPa 时,

$$R = \left(\frac{8 \times 27.51}{10 \times 0.10} \right)^{\frac{1}{3}} = 6.04 \text{ m}.$$

将以上计算结果导入人员伤害超压准则表^[1],见表 3.

表 3 人员伤害超压准则

Table 3 Overpressure criteria for personal injury

序号	伤害程度	超压 P/MPa	危害范围 R/m
1	轻微	0.02~0.03	9.02~10.32
2	中等	0.03~0.05	7.60~9.02
3	严重	0.05~0.10	6.04~7.60
4	极严重	>0.10	<6.04

再根据公式(7)计算出建筑物的伤害范围如下:

当 $P=0.005$ MPa 时,

$$R = \left(\frac{8 \times 27.51}{10 \times 0.005} \right)^{\frac{1}{3}} = 16.39 \text{ m};$$

当 $P=0.006$ MPa 时,

$$R = \left(\frac{8 \times 27.51}{10 \times 0.006} \right)^{\frac{1}{3}} = 15.42 \text{ m};$$

当 $P=0.015$ MPa 时,

$$R = \left(\frac{8 \times 27.51}{10 \times 0.015} \right)^{\frac{1}{3}} = 11.36 \text{ m};$$

当 $P=0.020$ MPa 时,

$$R = \left(\frac{8 \times 27.51}{10 \times 0.020} \right)^{\frac{1}{3}} = 10.32 \text{ m};$$

当 $P=0.030$ MPa 时,

$$R = \left(\frac{8 \times 27.51}{10 \times 0.030} \right)^{\frac{1}{3}} = 9.02 \text{ m};$$

当 $P=0.040$ MPa 时,

$$R = \left(\frac{8 \times 27.51}{10 \times 0.040} \right)^{\frac{1}{3}} = 8.19 \text{ m};$$

当 $P=0.050$ MPa 时,

$$R = \left(\frac{8 \times 27.51}{10 \times 0.050} \right)^{\frac{1}{3}} = 7.61 \text{ m};$$

当 $P=0.060$ MPa 时,

$$R = \left(\frac{8 \times 27.51}{10 \times 0.060} \right)^{\frac{1}{3}} = 7.19 \text{ m};$$

当 $P=0.070$ MPa 时,

$$R = \left(\frac{8 \times 27.51}{10 \times 0.070} \right)^{\frac{1}{3}} = 6.80 \text{ m};$$

当 $P=0.100$ MPa 时,

$$R = \left(\frac{8 \times 27.51}{10 \times 0.100} \right)^{\frac{1}{3}} = 6.04 \text{ m};$$

当 $P=0.200$ MPa 时,

$$R = \left(\frac{8 \times 27.51}{10 \times 0.200} \right)^{\frac{1}{3}} = 4.79 \text{ m};$$

当 $P=0.300$ MPa 时,

$$R = \left(\frac{8 \times 27.51}{10 \times 0.300} \right)^{\frac{1}{3}} = 4.19 \text{ m}.$$

将以上计算结果导入爆炸波超压对建筑物的破坏作用表^[1],见表 4.

表 4 爆炸波超压对建筑物的破坏作用

Table 4 Damage effects on buildings for overpressure blast wave

序号	超压 P/MPa	危害距离 R/m
1	0.005~0.006	15.42~16.39
2	0.006~0.015	11.36~15.42
3	0.015~0.020	10.32~11.36
4	0.020~0.030	9.02~10.32
5	0.040~0.050	7.61~8.19
6	0.060~0.070	6.80~7.19
7	0.070~0.100	6.04~6.80
8	0.100~0.200	4.79~6.04
9	0.200~0.300	4.19~4.79

3 储罐火灾、爆炸计算结果分析

a. 不同热辐射值引起对人体的伤害及设备的破坏不同,由入射通量与危害半径的关系表 2,绘制坐标图如图 1. 结合表 2 和图 1 可知:

①半径在 3.86 m 以内的设施全部损坏,人员全部损坏;

②半径在 4.72 m 以内的设施严重损坏,人员在 1 min 内撤不出则全部死亡;

③半径在 4.72~6.69 m 内设施不同程度损坏,人员受到严重烧伤 1 min 内撤不出 1% 会死亡;

④半径在 6.69~11.8 m 内人员有不同程度的烧伤;

⑤半径在 11.8m 外人员较安全;

⑥半径在 18.67 m 以外人员不受伤害,半径在 6.69 m 以外建筑物不受损坏.

b. 根据计算出的储罐爆炸冲击波超压对人危害半径的关系表 3,绘制坐标图如图 2.

由表 3 和图 2 可知,当超压小于 0.02 MPa 时,人员免于损坏,此时即安全距离,即 10.32 m。

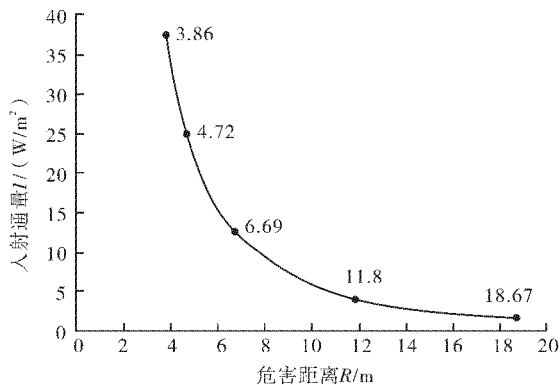


图 1 入射通量与危害半径图

Fig. 1 Incident flux and hazard radius

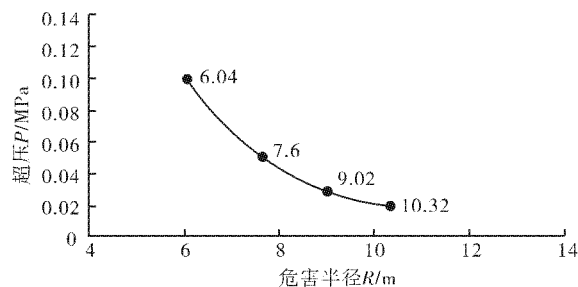


图 2 超压与人员伤害半径图

Fig. 2 Overpressure and personal injury radius

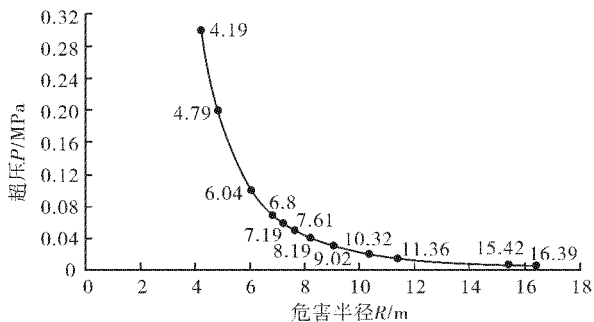


图 3 超压与建筑物伤害半径图

Fig. 3 Overpressure and building damage injury radius

根据计算出的储罐爆炸冲击波超压对建筑物危害半径的关系表 4,绘制坐标图如图 3。

由表 4 和图 3 可知,如果超压小于 5 kPa 时,建筑物不会遭受破坏,所以,其安全距离为 16.39 m。

c. 由表 2 和图 1 可知,半径为 11.8 m 时,热辐射强度为 4.0 W/m²,伤害程度为 20 s 以上感觉疼痛,未必起泡,属于可接受范围。而《建筑设计防火规范》(GB50016—2006)规定二级站与民用建筑的距离不小于 12 m。从中可知此加油站的距离 15 m 满足规定。

此加油站储罐到站房的距离约为 25.2 m,到民房的距离约为 15 m,由于计算中是按储罐中心出发的,加油站储罐到站房的实际距离为 28.2 m,加油站储罐到民房的实际距离约大于 18 m,大于安全距离,所以此加油站的距离满足安全。

d. 由于同等危害情况下,爆炸危害区域大于火灾危害区域,即爆炸的安全距离大于火灾的安全距离,因此在汽车加油站储罐区周边设置其他建筑物或设备设施时,要重点考虑储罐发生爆炸所波及的危害范围。

4 结 语

汽车加油站储罐区易发生火灾、爆炸事故,池火灾和蒸气云爆炸、G·M 莱克霍夫计算方法均可以计算加油站储罐区的危险性,并能够精确计算出发生火灾、爆炸的危险区域。通过危险区域半径的计算,能够为提高汽车加油站的风险控制、应急管理起着十分重要的意义。

a. 通过对汽车加油站火灾爆炸危害区域进行研究,可以论证新建加油站的安全距离设计是否满足国家规定的安全规范和职业安全健康要求,补充提出消除、预防或减弱装置危险性、提高装置安全运行等级的对策措施,以利于提高建设项目本质安全程度。

b. 为加油站安全管理的系统化、标准化、科学化提高依据和条件,为安全生产监督管理部门实施建设项目安全许可提供参考。

c. 计算出汽车加油站火灾、爆炸危害区域的范围,为加油站合理平面布局、有针对性地制定安全对策措施、防火防爆提供一定的参考依据。

致谢

论文的完成得到武汉工程大学的经费资助,同时也得到我的学生赵宁以及安全工程教研室同事们的大力支持和帮助,在此,对他们以及参考文献作者表示衷心的感谢!

参考文献:

- [1] 戴树和. 工程风险分析技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2006.
- [2] 刘铁民, 张兴凯, 刘功智. 安全评价方法应用指南[M]. 北京: 化学工业出版社, 2005.
- [3] 刘诗飞, 詹予忠. 重大危险源辨识及危害后果分析[M]. 北京: 化学工业出版社, 2004.
- [4] 周家红, 许开利. 加油站爆炸事故的危险性评价[J]. 工业安全与环保, 2005, 31(9): 39-41.

On hazardous areas of fire and explosion for storage tank in the filling station

ZHOU De-hong ,ZHAO Ning

(School of Environment and Civil Engineering, Wuhan Institute of Technology, Wuhan 430074, China)

Abstract: The storage tank area of filling station has probability of fire and explosion accidents and the consequences of fire and explosion are very serious. To realize the reasonable layout of filling stations, the pool fire mathematical model was put forward to calculate the consequences of fire accidents in storage tank area, different hazard distances were derived on basis of different thermal radiation damage, explosion energy was calculated by using vapor cloud explosion mathematical model, injury degrees on buildings, personnel and hazard distances were assessed with G. M. likhoff formula. It is important that hazardous distance of fire and explosion is determined for location, construction, layout, risk control of filling stations. Under the same dangerous circumstance, explosion hazardous area is farther than fire hazardous area, and safety distance of explosion is farther than fire's. So, according to the algorithm, the hazardous area of explosion is mainly considered when buildings, structures, equipments and facilities are set around the filling stations.

Key words: hazard radius; fire; risk; explosion

本文编辑:龚晓宁