

文章编号:1674-2869(2019)03-0272-04

# 一种城市汽车加油站加油机的防护设计

杨文斌,周德红\*,肖振航,杜冰,左前贵,王帅  
武汉工程大学兴发矿业学院,湖北 武汉 430074

**摘要:**首先在加油站加油机四周加装防护立柱,并验算在汽车失控冲击加油机时防护立柱所需承受的最大动载荷和弯矩,根据计算所得的应力进行材料选型。然后在防护立柱外选用可旋转的橡胶垫圈,计算在弹性变形范围内吸收汽车正面碰撞的动载荷所需的橡胶厚度。以上两种设计既可以完全吸收汽车冲击的动能,又能引导失控的汽车尽量沿着橡胶垫圈的切线方向滑出,缓慢释放动能,减轻碰撞,以此确保加油机在汽车冲击事故中不被破坏。

**关键词:**加油机;防护柱;应力分析;事故控制

**中图分类号:**X928.0      **文献标识码:**A      **doi:**10.3969/j.issn.1674-2869.2019.03.013

## Protection Design of Filling Machine in Urban Gas Station

*YANG Wenbin, ZHOU Dehong\*, XIAO Zhenhang, DU Bing, ZUO Qiangui, WANG Shuai*  
School of Xingfa Mining Engineering, Wuhan Institute of Technology, Wuhan 430074, China

**Abstract:** The columns were firstly installed around a filling machine in a gas station for safety protection. Meanwhile the maximum dynamic loads and bending moments of the protective columns were calculated when a vehicle runs out of control and collides the filling machine. The materials of the column were selected according to the calculated stress. Then, the rotatable rubber gaskets were installed outside the protective columns. The thickness of rubber gasket required to absorb the dynamic load of vehicle frontal collision was calculated in the elastic deformation range. The design not only ensures that the kinetic energy of vehicle collision is absorbed completely by the protective columns, but also guides the out-of-control vehicle to slide along the tangent direction of rubber gaskets. It will release kinetic energy slowly and reduce collision, which makes the filling machine not destroyed in vehicle collision accidents.

**Keywords:** filling machine; protection column; stress analysis; accident control

加油机因质量较轻、材质较脆,不能承受较大的冲击。目前加油机的防护措施较少。依据《汽车加油加气站设计与施工规范》(GB50156—2012)<sup>[1]</sup>,加油机应设立在加油岛上,加油岛应高出停车场地坪0.2 m,宽度为1.2 m或1.5 m,单柱岛长度4.2 m,双柱岛长度4.8 m,无柱岛长度3.3 m。加油岛上的罩棚支柱距加油岛端部不应小于0.6 m。

在加油站安全防护方面,康荣学等<sup>[2]</sup>针对加油

站的安全运营提出使用监控和预警系统,有效地联系了加油站各工艺单元,将硬件数据较好地转化为可视化的监测数据,为事故发生后的及时控制提供了思路。丁曦<sup>[3]</sup>从人机环管料5个方面分析了加油站的危险有害因素,总结了一些有效的控制措施。周德红等<sup>[4]</sup>论述了加油站储罐及其相连的加油机的油气泄露后的火灾数学模型及爆炸对人员和设备的影响,推导出不同危险状况下的

收稿日期:2019-01-09  
基金项目:2018年度国家级大学生创新创业训练计划项目(20181049001X);武汉工程大学第十三期大学生校长基金(2018158,2018159)

作者简介:杨文斌,本科生。E-mail:1079267797@qq.com  
\*通讯作者:周德红,博士,教授。E-mail:dhzhou@wit.edu.cn

引文格式:杨文斌,周德红,肖振航,等.一种城市汽车加油站加油机的防护设计[J].武汉工程大学学报,2019,41(3):272-275.

危险距离。

近年来,因驾驶员操作失误而使汽车撞毁加油机引发重大火灾、爆炸的事故时有发生,给加油站的平稳运营带来了挑战。本文设计在两侧加设单柱的防护立柱以保护加油机。

## 1 事故案例

### 1.1 案例简述

2018年5月6日,常州市延政路某加油站内一小轿车突然失控冲进加油站,一加油机被撞毁,造成汽油大量外泄,情形危急。

2018年11月18日,西安市劳动路某加油站2号加油机前一辆轿车突然启动,将加油机撞倒,外泄的汽油被短路的火线和零线点燃,引发火灾事故,造成重大经济损失。

### 1.2 案例分析

上述两个案例中,两汽车因不同原因造成冲撞加油机的事故,但两者均存在汽车动能直接作用于加油机、加油机几乎完全没有防护的不安全因素,故有必要对加油机的防护措施加以研究。

目前双岛柱加油机两侧有岛柱防护,暴露面积较小,较为安全;单岛柱和无岛柱的加油机暴露面积较大,当汽车驾驶员操作不当(如误将油门当刹车使用)或车辆发生故障而使汽车突然加速冲上加油岛、撞击加油机时,加油机外壳会被冲垮,内部与油罐相连的油泵和管道等受到牵扯而破裂,致使汽油外泄。

编订事故应急救援预案和定期组织加油站相关工作人员进行消防演练可以为应急救援提供所需的技术支持<sup>[5-7]</sup>,同时足够的防火间距可以有效地隔离油库和着火点<sup>[8]</sup>,但如果能采取必要的措施对加油机加以防护,在面对车辆冲击时,尽量采用防护措施吸收动能,避免加油机受到冲击、汽油外泄进而发生燃烧爆炸事故,实现加油机的日常安全运营。另外,当汽车以非正对设备的角度冲向加油机时,如果能引导汽车改变方向,变碰撞为刮蹭,将车辆的动能缓慢地释放,对降低车体的损失和减少碰撞对车内人员的伤害颇有益处。故有必要对加油机进行安装防护措施以应对冲撞事故的发生。

## 2 加油机防撞立柱的设计

### 2.1 防护柱的设计

在加油机无岛柱一侧和前后两侧设置防撞立柱,防止因司机的误操作发生的碰撞。立柱下端

使用铆钉和混凝土固定,在发生碰撞时吸收汽车的动能从而防止加油机受到撞击。同时,在防护立柱周围套入橡胶垫圈,尽可能地将刚性碰撞转化为弹性碰撞,延缓动能的吸收,降低应力峰值。当汽车以侧面撞击防护立柱时,可以旋转的橡胶垫圈引导汽车转向,而非直接发生碰撞,减少对汽车车体和车内人员的伤害。

考虑到碰撞事故方向的不确定性,防护柱需要承受较大的弯矩,且需要支持橡胶垫圈可转动,本文选用热轧等边角钢做为防护柱的主材料。因加油站有油气挥发,钢制材料会因日常的无意撞击产生火花,有造成燃烧爆炸事故的风险,故需在防护柱外表镀一层铜,橡胶垫圈需使用防静电橡胶。在垫圈的外表应涂有醒目的反光标志或者黄黑色相间的警示标志。设计示意图见图1。

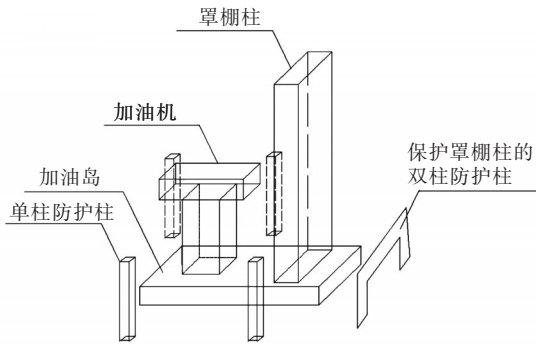


图1 防护设计示意图

Fig. 1 Schematic diagram of protective design

### 2.2 防护柱性能验算

汽车驾驶误操作分为静止状态下突然启动和驶向加油机的过程中突然加速两种,后者动能更大,破坏力更强,本文以后者为例进行讨论。

以常见的某重1.5 t、10 s内可从0 km/h加速到100 km/h的汽车进行计算。假设汽车从距加油机2个车长即10 m外开始加速,加油站一般规定汽车进入加油站后应减速至5 km/h,若此时驾驶员操作失误,误将油门踏板作为刹车踏板使用,且于慌乱中紧踩不放,汽车以最大加速度冲向加油机,验算此时防护柱所需承受的最大弯矩。

确定了材料选型后,可由冲击载荷的经典公式进行验算:冲击载荷 $F_d=K_d\cdot F_s=(1+\sqrt{1+\frac{2h}{\Delta_s}})\cdot W$ ,其中, $K_d$ 为动荷系数, $F_s$ 为静载荷作用力, $h$ 为等效自由落体高度, $\Delta_s$ 为梁的位移(此处即为挠度), $W$ 为车重。

平均加速度 $a$ 与初速度 $v_0$ 以及加速位移 $x$ 有如下关系:

$$v = v_0 t + \frac{1}{2} a t^2 \quad (1)$$

$$v^2 - v_0^2 = 2ax \quad (2)$$

计算得  $a$  为  $2.778 \text{ m/s}^2$ , 末速度  $v$  为  $7.58 \text{ m/s}$ 。

可由动量守恒定理计算汽车撞在防护柱上的作用力(即动能完全被吸收):

$$p = \int Ft dt = mv - mv_0 \quad (3)$$

根据以前国内外公布的数据,达到碰撞安全标准的碰撞过程均一般在  $80 \text{ ms}$  以上<sup>[9]</sup>,本文取碰撞过程为  $80 \text{ ms}$ ,即  $0.08 \text{ s}$ 。计算得碰撞过程中防护柱约受力  $142.1 \text{ kN}$ 。为使模型简化,假定冲击力均匀地作用在防护柱上,防护柱高取  $1.2 \text{ m}$ ,混凝土埋深  $0.3 \text{ m}$ ,则作用力均布载荷集度为  $118.4 \text{ kN/m}$ 。

依照应力计算并结合静定方程画出剪力图和弯矩图,如图2所示。

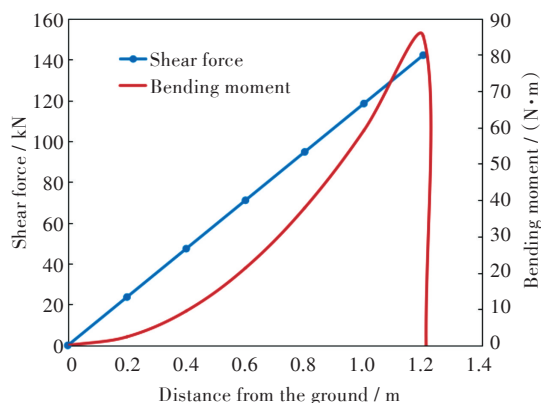


图2 防护立柱的剪力和弯矩图

Fig. 2 Shear force and bending moment diagrams of protective column

故得到防护柱的控制面在端部固定处,最大弯矩为  $85.248 \text{ N} \cdot \text{m}$ 。

考虑到汽车可能从多个方向撞向加油机,且需要较大的抗弯截面系数,故本文从型钢表中选取某一型号的热轧等边角钢作为防护柱的主材质。校核型钢主材的抗弯截面系数应从主材最易被破坏的冲击方向验算。本文以角钢的2个边的中点连线为弯曲轴,在该最不利情况下验算最大正应力  $\sigma_{\max}$ 。

型钢材料的许用应力  $[\sigma] = 160 \text{ MPa}$ ,可根据下式计算防护柱的最大应力,校核材料的截面积。

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{\max}}{W_z} \leq [\sigma] \quad (4)$$

所需抗弯截面系数  $W_z$  计算得  $0.533 \text{ cm}^3$ ,查型钢表,选取号数为3.6,截面积为  $2.109 \text{ cm}^2$  的热轧等边角钢。

防护柱可视为悬臂梁,此时最大挠度发生在

自由端处,其值为  $w_{s \max} = \frac{WL^3}{3EI} = \frac{1.5 \times 10^4 \times 0.12}{3 \times 10 \times 10^9 \times 2.109 \times 10^{-4}} = 0.284 \text{ mm}$ 。

由  $w_{s \max} = 0.284 \text{ mm}$  可计算得动荷系数  $K_d$  为2.26,冲击载荷为  $33.9 \text{ kN}$ ,最大冲击应力

$$\sigma_{d \max} = K_d \cdot \sigma_{s \max} = K_d \cdot \frac{M_{\max}}{W_z} = 2.26 \times \frac{85.248}{0.99} =$$

$194.6 \text{ MPa} > 160 \text{ MPa}$ ,故所选材料不满足要求。

依照上述过程重新选型4.0号、边厚度为  $5 \text{ mm}$  的型钢可满足要求。

### 2.3 碰撞中防护橡胶应力分析

橡胶做为一种超弹性体材料,与常见的弹性材料不同,较小的作用力即可产生较大的应变,但同时可在简化模型后认为橡胶是一种各向同性的形变材料<sup>[10]</sup>。通过计算撞击作用力对车体前部吸能装置的应变大小,可以判断所需橡胶垫圈的最小极限厚度。

碰撞过程中装置通过变形而吸收全部能量即总吸能量  $E_0$  可由下式计算<sup>[11]</sup>:

$$E_0 = \int_0^{\delta} P d\delta \quad (5)$$

根据文献<sup>[12]</sup>,橡胶的弹性模量  $E$ 、剪切模量  $G$  有如下关系:

$$G = \frac{E}{3} = 2(C_{10} + C_{01}) \quad (6)$$

其中  $C_{10}$  和  $C_{01}$  为 civlin 常数。在工程应用中常用  $C_{01} = 0.25 C_{10}$  做最佳猜测。

通过实验拟合压缩刚度  $K$  和弹性模量  $E$  得到如下关系<sup>[12-13]</sup>:

$$6C_{10}(1 + \frac{C_{01}}{C_{10}}) = \frac{15.75 + 2.15K}{100 - K} \quad (7)$$

以常用的工程橡胶为例,其泊松比为0.3,弹性模量  $E = 7.8 \times 10^6 \text{ Pa}$ ,由式(7)可得  $C_{10} = 2.6 \times 10^5$ ,  $C_{01} = 0.65 \times 10^5$ 。

同时,橡胶压缩刚度  $K$  可用于碰撞过程中的受压面积  $A$  的计算<sup>[14]</sup>:

$$K = \frac{A\mu E}{l'} \quad (8)$$

其中,  $\mu$  为橡胶间摩擦系数,查阅摩擦系数手册得0.62;  $l'$  为橡胶垫圈的厚度。

由文献<sup>[15]</sup>,橡胶的单轴抗压应力  $\sigma$  与应变  $\lambda$  关系有如下经验公式:

$$\frac{\sigma}{\lambda^{-2} - \lambda} = C_{10} + \frac{C_{01}}{\lambda} \quad (9)$$

联立式(8)和式(9),计算可得所需最小橡胶垫圈半径为  $0.62 \text{ m}$ 。



### 3 防护立柱优劣分析

#### 3.1 防护柱的走访调查

笔者走访了7家加油站,询问调查加油站员工共21人,其中认为“在加油机周围设置防护柱可以有效减少冲撞加油机事故,予以支持”的有13人,占比61.9%;认为“防护立柱有防护作用,但同时有妨碍加油操作的副作用,不支持也不反对”的有6人,占比28.3%;认为“防护立柱确能起到防护作用,但影响操作较为明显,反对加设”的有2人,占比9.8%。故而笔者认为设立防护柱利大于弊,能有效减少因汽车冲撞加油机引起的火灾爆炸事故。

#### 3.2 防护柱优缺点分析

在未设立防护柱前,加油机无岛柱防护一侧,基本完全暴露在汽车行进路线上,如果汽车驾驶员操作失误或制动失灵,加油机很有可能受到冲击而在汽油泄露处引起火灾爆炸事故。在设立防护柱后,即使有汽车冲向加油机,其动能也能被防护柱基本吸收,避免失控汽车直接作用在加油机上,很好地保护了加油机。且防护柱主材料价格低廉,易于生产和安装,成本较低。

防护柱在实际使用过程中,因加油岛尺寸的限制,且加油机两侧加油枪的必要功能,无法完全将加油机保护在防护柱的保护空间内,汽车仍有可能从防护柱和罩棚柱的空隙内撞击加油机,但冲击事故需要比较特殊的角度,大大降低了冲击的风险。

防护柱的设计虽通过选材和防撞设施设计等方法使汽车转向避免强烈的碰撞,或者使碰撞由刚性碰撞转变为柔性碰撞,但所需橡胶垫圈厚度过大,可能妨碍正常的生产活动,但如果减小垫圈厚度,则部分碰撞仍是非弹性碰撞,对发生事故的汽车仍可能有伤害作用,应选取弹性更好的橡胶材料以在有限的空间内更好地吸收汽车的动能,力求能在弹性变形范围内完全吸收动能,有改进和提高的空间。

另外在使用过程中可能存在有防护柱影响使用加油枪的人员的行进,虽在防护柱外层涂有醒目的警示标志,但无法完全避免对来往人员的影响,应注意实践过程中的妨碍作用。

### 4 结 语

本文通过为加油机设计防护立柱,吸收汽车失控意外冲撞加油机的动能,以此保护加油机免受冲击;另外在防护立柱外加套可旋转的橡胶垫

圈,尽可能引导汽车调整方向,使汽车沿着橡胶垫圈的切线方向滑出,缓慢释放动能、减轻碰撞;如碰撞不能避免,也可变刚性碰撞为弹性碰撞,降低应力值,减少碰撞对车体和车内人员的伤害。同时本文通过估算汽车的动能和碰撞过程中的最大应力,以此验算了所需防护立柱的型钢截面积;另外还计算了完全以弹性碰撞吸收汽车动能的最小橡胶垫圈厚度,在物质层面为加油站的加油机安全运营提供了思路,能有效减少冲撞事故的发生。

#### 参考文献

[1] 中国石油化工集团公司. GB50156—2012 汽车加油加气站设计与施工规范[S]. 北京:中国计划出版社, 2012.

[2] 康荣学,朱明玉,鲍军胜,等. 加油站安全监控预警系统研发与应用[J]. 中国安全科学学报, 2008(7): 156–160.

[3] 丁曦. 加油站消防安全设计及消防安全管理[J]. 江西化工, 2018(3): 203–204.

[4] 周德红,赵宁. 加油站储罐火灾与爆炸危险区域分析[J]. 武汉工程大学学报, 2013, 35(1): 7–11.

[5] 盛媛. 加油站突发事件应急救援预案通用模版研究[D]. 北京:中国科学院大学, 2014.

[6] 周德红,李文,冯豪,等. 汽车加油站储罐区综合安全评价[J]. 武汉工程大学学报, 2015, 37(11): 15–19.

[7] 何冬玲,岳强. 加油站危险性分析和控制[J]. 林业劳动安全, 2007(2): 17–21.

[8] 姜俊兴,胡泽义,薛锋,等. 加油站升级的安全间距和防火间距的探讨[J]. 山东化工, 2018, 47(14): 151–152.

[9] 龚友,刘星荣,葛如海. 小型客车整车正面碰撞分析[J]. 江苏理工大学学报(自然科学版), 2000, 21(3): 16–21.

[10] 郝长千,唐华平,聂拓,等. 橡胶缓冲器接触碰撞有限元分析[J]. 现代制造工程, 2009(3): 63–65.

[11] 陈吉清,周鑫美,饶建强,等. 汽车前纵梁薄壁结构碰撞吸能特性及其优化的研究[J]. 汽车工程, 2010, 32(6): 486–492.

[12] 李少远,姜贵林,王洪光,等. 带橡胶缓冲垫的出弹装置碰撞有限元分析[J]. 应用科技, 2014, 41(1): 75–79.

[13] 史立康,祝海林. 余弦曲线橡胶减速带性能分析[J]. 橡胶工业, 2018, 65(11): 1266–1269.

[14] 宋波,程景霞,王彦旭,等. 橡胶防撞垫片参数对曲线桥力学特性的影响[J]. 建筑科学与工程学报, 2016, 33(4): 82–89.

[15] 王伟,邓涛,赵树高. 橡胶 Mooney-Rivlin 模型中材料常数的确定[J]. 特种橡胶制品, 2004(4): 8–10.