

研究简报

# 乙炔——空气混气的爆

## 炸泄压试验研究

王宝兴 胡英年 裴惠芬 杜兰平

(1985年6月16日收到)

本文给出了在1米<sup>3</sup>试验容器内做的乙炔——空气混气的爆炸泄压试验结果,并将试验结果和 Rasbash 公式作了比较,对乙炔站设计的安全性进行了讨论。

### 一、前 言

乙炔气是仅次于氢气的危险易爆气体。已报导的试验研究很少。文〔1〕〔2〕根据小容器试验结果曾提出过外推的计算公式。例如, Rasbash<sup>(2)</sup>根据丙烷——空气混气的小容器试验结果提出如下外延公式

$$P = S_0(P_v + 7.76K) \quad (1)$$

式中:  $P$ ——泄放爆炸压力(千牛顿/米<sup>2</sup>);  $S_0$ ——燃气的基本燃烧速度(米/秒);  $P_v$ ——泄压口封闭物的释放压力(千牛顿/米<sup>2</sup>);  $K$ ——泄压口系数。等于建筑物(或容器)横截面积  $F$  和泄压口面积  $A$  的比值。  $K = F/A$ 。

本文报导了用1米<sup>3</sup>试验容器做的乙炔——空气混气爆炸泄压试验结果。目的在于进一步揭示乙炔——空气混气爆炸泄压的规律,用试验数据验证经验公式的适用性并进一步检验按现行“乙炔站设计规范(TJ31-78)”设计的乙炔站厂房的安全性。

### 二、试验装置

图1示出置于室外的试验系统。测试装置及控制装置置于测试间内,泄压容器及乙炔气源置于室外,中间用一道防爆墙隔开。

试验本体是容积为1米<sup>3</sup>的正方体。这种形状最容易在内腔产生声振驻波。本体正面开泄压口。变换正面挡极,泄压口面积可分别调节为0.264、0.404、0.545和0.821米<sup>2</sup>。

本体顶部有三个压力传感器接头,乙炔气可以从顶部中心输入或者从侧面经喷嘴注入。点火电极从左侧伸进,位于容器几何中心。也可以根据要求调节点火电极的位置。

点火源是一台交流火花发生器。它产生1万伏特的高压,使气体电离,产生高频火花。

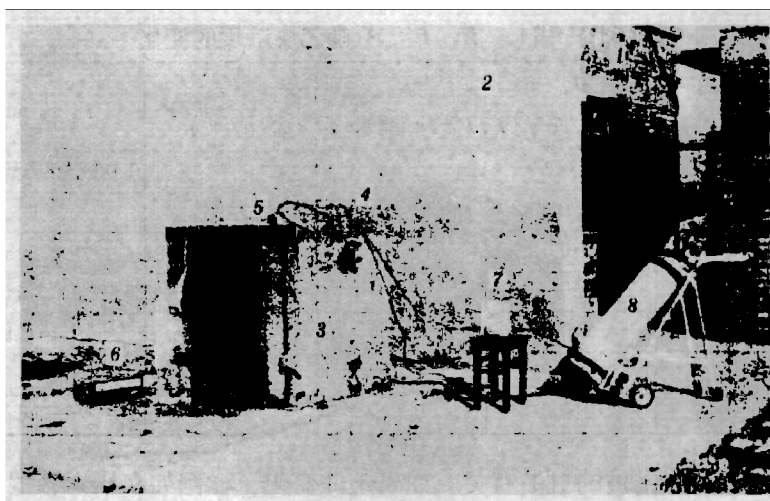


图1 1米³爆炸泄压试验系统

- |           |        |                |
|-----------|--------|----------------|
| 1. 测试间    | 2. 防爆墙 | 3. 本体 (1米³容器), |
| 4. 压力传感器  | 5. 进气阀 | 6. 交流火花发生器     |
| 7. 积分式流量计 | 8. 气瓶  |                |

乙炔气从气瓶流出,减压后经积分式流量计输入到试验本体。流量计计量出总输入的乙炔气容积,由此算得平均浓度。流量计误差为2%,浓度分佈误差小于5%。

压力测量采用电阻应变式压力传感器,经动态应变仪由光线示波器记录,或经数据采集器,微计算机记录在磁带上。传感器及动态应变仪在力学所用激波管作了动态校准。频率响应时间为0.64秒。

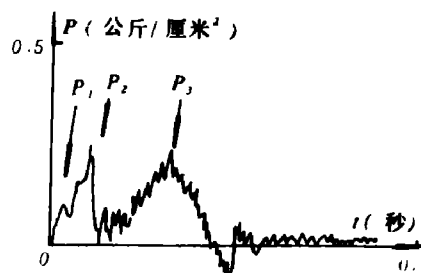
### 三、泄放爆炸压力峰值和浓度、泄压孔面积的关系

图2是一条典型的乙炔—空气混气爆炸泄压的压力时间曲线。按照文献〔3〕的区分惯例,我们也将它区分为三个压力峰。第一个压力峰 $P_1$ 是泄压口封闭物破裂引起的压力峰, $P_2$ 是当火焰前峰传播到泄压口引起的,第三个压力峰 $P_3$ 则定义为声动不稳定燃烧引起的压力峰。

由表1可看出,在 $A/V^{2/3} = 0.545$ ,塑料薄膜封闭泄压口时, $P_1$ 很小, $P_2$ 和 $P_3$ 相差不多。其中乙炔浓度为13.5% (序号5)的试验中, $P_2$ 较小, $P_3$ 最高。 $P_3$ 的频率为450周/秒,相当试验容器两平行壁面之间的声振基波频率。其它各次试验, $P_3$ 的频率大约为900周/秒,相当声振二次谐波频率。

随着 $A/V^{2/3}$ 值的变化, $P_3$ 变化, $P_3$ 与 $P_2$ 的相对大小也变化。图3是 $A/V^{2/3} = 0.284$ ,塑料薄膜封闭泄压口的压力时间曲线。其中 $P_1 = 0.16$ , $P_2 = 0.28$ , $P_3 = 0.63$  (公斤/厘米²);这时 $P_3$ 远远大于 $P_2$ 。

关于 $P_3$ 的产生机理本文不作讨论。但可以指出它和容器内腔体的声振有关。在图3的条

图2 典型的 $P \sim t$ 曲线

乙炔浓度11.5% (体积浓度),  $A/V^{2/3} = 0.545$ ,用0.05毫米厚的塑料薄膜封盖泄压口。其中 $V$ 为试验容器的容积。

表1  $P_1, P_2, P_3$  随乙炔浓度的变化

序号	$A/V^{2/3}$	浓度 (%)	$P_1$ (公斤/厘米 <sup>2</sup> )	$P_2$ (公斤/厘米 <sup>2</sup> )	$P_3$ (公斤/厘米 <sup>2</sup> )	备 注
1	0.545	8.5	0.07	0.15	0.13	0.05 毫米厚的塑料薄膜封盖泄压口
2	0.545	9.5	0.07	0.20	0.15	同 上
3	0.545	10.5	0.07	0.20	0.28	同 上
4	0.545	11.5	0.09	0.24	0.22	同 上
5	0.545	13.5	0.04	0.06	0.29	同上, $P_3$ 的频率为450周/秒
6	0.545	14.5	0.04	0.16	0.14	同 上
7	0.545	15	0.04	0.21	0.18	同 上

件下,  $P_3$  和声振二次谐波的驻波有关。如果条件变化了, 例如在压力容器的部分内壁面上衬

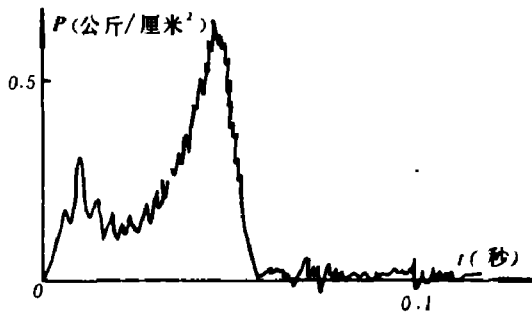


图3  $A/V^{2/3} = 0.264$ , 塑料薄膜封闭泄压口情况的压力时间曲线

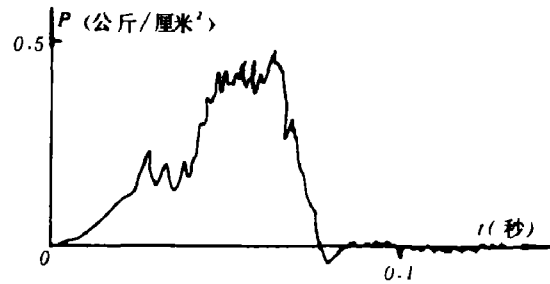


图4 压力容器内壁面部分衬以消声介质情况的压力时间曲线  
 $A/V^{2/3} = 0.264$ , 乙炔浓度、泄压口封闭物与图3试验相同

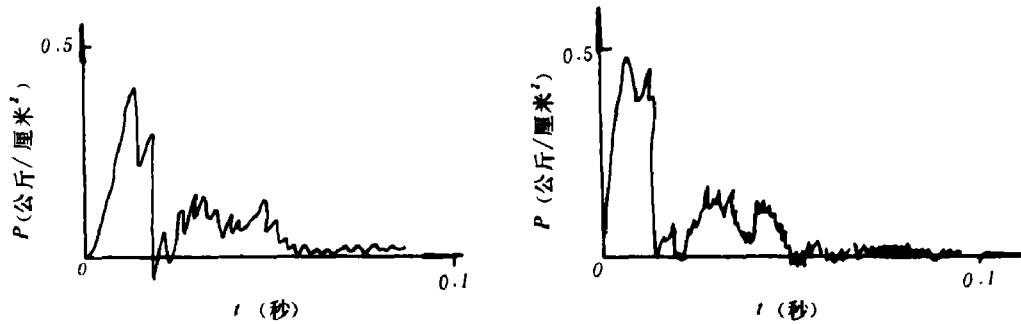
以消振物质, 腔体内声振的二次谐波驻波能量减弱, 结果  $P_3$  的振动频率为450周/秒, 也即和基频驻波有关, 相应地  $P_3$  数值也下降一些。如见图4, 此时  $P_1 = 0.15$ ,  $P_2 = 0.25$ ,  $P_3 = 0.47$  (公斤/厘米<sup>2</sup>)。

增大泄压孔面积,  $P_3$  和  $P_2$  大小相差不多。例如, 当  $A/V^{2/3} = 0.820$ , 乙炔浓度为11.5%, 塑料薄膜封闭泄压口的情况, 试验测得的三个压力峰值各为:  $P_1 = 0.04$ ,  $P_2 = 0.19$ ,  $P_3 = 0.20$  (公斤/厘米<sup>2</sup>)。

#### 四、泄压口封闭材料对第一个压力峰的影响

以上所给的各试验曲线中, 泄压口封闭材料全用厚0.05毫米塑料薄膜,  $P_1$  都很小。当用3毫米厚的平板玻璃封闭泄压口时,  $P_1$  将上升为三个压力峰中的最大值。下图5给出一组对比试验曲线。

图5中曲线1是  $A/V^{2/3} = 0.545$ , 乙炔浓度为11.5%, 3毫米平板玻璃封闭泄压口的压力时间曲线。曲线2的试验条件与曲线1不同的一点是玻璃未将泄压口盖严, 两边各留20毫

图5 泄压口封闭材料对 $P_1$ 的影响

米宽的窄缝，用塑料薄膜将缝封闭。两次试验的各个压力参数如下

曲线1： $P_1 = 0.40$ ， $P_2 = 0.26$ ， $P_3 = 0.16$ （公斤/厘米<sup>2</sup>）

曲线2： $P_1 = 0.48$ ， $P_2 = 0.46$ ， $P_3 = 0.16$ （公斤/厘米<sup>2</sup>）

两组数据相比，显然，使用玻璃作泄压口封闭材料， $P_1$ 显著升高，成为三个压力峰中最大值。更值得注意的是曲线2的 $P_1$ 、 $P_2$ 都比曲线1高。这不是一种“反常”现象，在 $A/V^{2/3} = 0.820$ 作试验时，也发现这种情况。

使用玻璃封闭泄压口导致 $P_1$ 上升，原因是显然的，因为玻璃的破裂压力比塑料薄膜的大（前者破裂压力约为0.07~0.12公斤/厘米<sup>2</sup>，后者约为0.02~0.04公斤/厘米<sup>2</sup>），而乙炔—空气混气的燃速很高，泄压口打开之前压力会得到很大的升高。图5曲线2比曲线1的 $P_1$ 、 $P_2$ 高应归结于流动感生的紊流使燃速提高。在曲线2情况下，塑料薄膜先开启，产生泄放，这时玻璃未碎，泄压口很小，流速较高，口端产生的紊流将反传到容器内的未燃混气内，使燃速提高，从而使玻璃破裂时产生的 $P_1$ 值更大。文献〔4〕对这种口端产生紊流的效应作过阐述。

## 五、试验数据与Rasbash公式的比较

前言中给出的Rasbash公式(式(1))中的 $P$ 应理解为 $P_1$ 、 $P_2$ 和 $P_3$ 在最危险浓度时的最大值。表2列出计算值与试验值的对比情况。

表2 计算值与试验值的比较\*

序号	$A/V^{2/3}$	K	泄压口封闭物质	$P_v$ 千牛顿/米 <sup>2</sup>	P		备注
					计算值	试验值	
					公斤/厘米 <sup>2</sup>		
1	0.264	3.79	0.05毫米塑料薄膜	3	0.60	0.63	图3曲线的 $P_1$
2	0.545	1.834	同上	3	0.30	0.29	表1中序号5试验的 $P_3$
3	0.545	1.834	3毫米平板玻璃	12	0.39	0.40	图5曲线1的 $P_1$
4	0.545	1.834	3毫米平板玻璃，泄压口周边有20毫米缝隙	12	0.39	0.48	图5曲线2的 $P_1$
5	0.820	1.22	0.05毫米塑料膜	3	0.21	0.20	

\* 计算中的 $S_0$ 值取自文献〔5〕表A-42， $S_0 = 1.8$ 米/秒

表 2 表明压力计算值与试验值吻合得较好。但是也有例外,如对于用玻璃和塑料膜混合封闭泄压口的情况(图 5, 曲线 2 情况),实测值比计算值高。

## 六、由声振基频驻波引起的 $P_3$

前面已述,大多数情况,  $P_3$  和声振二次谐波驻波有关。在大泄压孔(即  $A/V^{2/3}$  值大),乙炔气高浓度下,也出现由声振基频驻波引起的  $P_3$ 。下图 6 示出了这种情况。

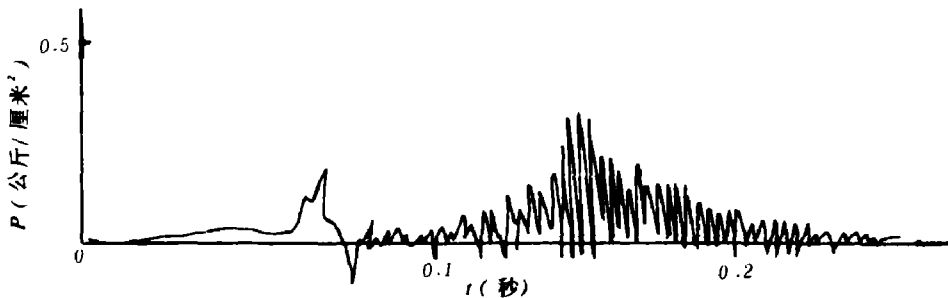


图 6 由声振基频驻波引起的第三压力峰

乙炔浓度 20%,  $A/V^{2/3} = 0.820$ , 0.05 毫米塑料膜封闭泄压口

图 6 所示的压力值为:  $P_1 = 0.05$ ,  $P_2 = 0.18$ ,  $P_3 = 0.34$  (公斤/厘米<sup>2</sup>) 用 Rasbash 公式计算的  $P$  值为 0.21 (公斤/厘米<sup>2</sup>)。可见,这种由声振基频驻波引起的第三压力峰  $P_3$  比 Rasbash 公式的估算值大得多。

## 七、乙炔厂房的安全设计

“乙炔站设计规范”(TJ31-78)规定“……泄压面积与厂房容积的比值,应符合现行的《建筑设计防火规范》的要求。”相应的《建筑设计防火规范》(TJ16-74 试行)规定“……泄压面积与厂房体积的比值(米<sup>2</sup>/米<sup>3</sup>)一般采用 0.05 至 0.10”。按照这些规定,考虑一间 60 米<sup>3</sup> 容积的乙炔厂房,取泄压面积与厂房体积的比值为 0.10 (最大值),下面估算一下它产生的压力。

$A = 6$  (米<sup>2</sup>),  $k = V^{2/3}/A = 2.56$ , 若泄压孔采用 3 毫米厚的玻璃封盖,这种情况可以近似采用 Rasbash 公式计算爆炸的最大压力  $P = 57.36$  (千牛顿/米<sup>2</sup>)  $\approx 0.59$  (公斤/厘米<sup>2</sup>) 这样大的爆炸压力,乙炔厂房是承受不了的,会造成严重的主体破坏。

为了安全,进一步加大泄压面积,例如,取  $A/V^{2/3} = 0.820$ , 则  $A = 12.57$  (米<sup>2</sup>),  $A/V = 12.57/60 = 0.209$ 。我们作过两次试验,用玻璃作泄压孔封闭物,但不完全封住,留一边隙(约占总泄压孔面积的 10%)用塑料薄膜封闭,试验测到的最大压力为  $P_3 \approx 0.37$  (公斤/厘米<sup>2</sup>)。

此外,即使泄压孔不用玻璃,改用 0.05 毫米塑料薄膜封闭,也可能出现图 6 所示的由基频驻波引起的  $P_3$ ,  $P_3 = 0.34$  (公斤/厘米<sup>2</sup>)。

文献〔6〕曾报导过在一间  $3 \times 3 \times 3$  米的模拟房间内作的一次爆炸泄压试验。 $A/V = 0.15$ , 其内充 9% 乙炔—空气混气,用塑料薄膜封闭泄压孔,在房间几何中心用电火花引爆。模拟房间采用单层砖结构(厚 240 毫米),屋顶用水泥预制板。结果模拟房间完全炸毁。

以上计算与试验均说明现行的“乙炔站设计规范”关于泄压面积的规定是不安全的。

## 八、结 束 语

综上所述可概括如下:

①. 乙炔——空气爆炸泄压的压力时间曲线可区分出三个有代表性的压力峰。第一个压力峰是泄压孔封盖物破裂时产生的;第二个压力峰是火焰前峰传播到泄压口时引起的;第三个压力峰一般情况下是由试验容器声振二次谐波驻波诱使燃速加快引起的。但是当泄压孔面积很大时(例如,  $A/V^{2/3} \geq 0.820$ 时)可能由容器腔体声振基频驻波引起 $P_3$ 。这三个压力峰的大小和泄压孔封闭材料,封闭方式以及泄压孔面积大小等都有关系。在特定情况下,任何一个压力峰都可能成为最大值。

②. 试验数据表明,当泄压孔较小时(例如,  $A/V^{2/3} \leq 0.545$ 时),对于泄压孔用平板玻璃或者用塑料薄膜封盖的情况,都可以用Rasbash公式近似计算最大的泄放爆炸压力。

③. 当用玻璃封盖泄压孔,但留有一定间隙(例如,某一扇窗户的一块玻璃破碎的情况),这种情况爆炸泄压的 $P_1$ 值远远大于Rasbash公式予估值。对于泄压孔较大,乙炔浓度较高的情况,容器空间声振基频驻波可引起较高的声动不稳定燃烧压力峰 $P_3$ 。这种 $P_3$ 也远远大于Rasbash公式计算值。

④. 按“乙炔站设计规范”(TJ31-78)设计的乙炔站厂房,安全性不够。在恶劣的爆炸情况下,厂房主结构可遭到严重破坏。

## 参 考 文 献

- [1] Cabbage, P. A., Simmonds, W. A., *Trans. Instn Gas Eng.*, **105** (1955)470.
- [2] Rasbash, D. J., *JFRO Fire Research Note*, No759 (1969).
- [3] Vanwingerden, C. J. M., Zeeven, J. P., *Combust. Flame* **51** (1983), 109.
- [4] Solberg, D. M., et al., *3rd Int. Symp. on Loss Prevention and Safety Promotion in the Process Industries*, Basle (1980), 1295.
- [5] National Fire Protection Association, *Guide For Explosio Explosion Venting*, NFPA **88** (1983).
- [6] 佳木斯防爆电机研究所, 乙炔模拟厂房泄压爆炸试验简介, *防爆电机*, **1**(1975). 19.

## THE EXPERIMENTAL RESEARCH OF ACETYLENE - AIR EXPLOSION VENTING

Wang Baoxing Hu Yingnian Pei Huifen Du Lanping

### Abstract

This paper reports the tests performed in a  $1.0\text{m}^3$  explosion venting vessel with acetylene - air mixture, the results of which are compared with Rasbash formula. Discussions on safty for acetylene station building design are made.