

受压密封技术

资料

8

北京经济学院  
劳动保护系资

《锅炉爆炸和蒸气爆炸》是日本横滨国立大学著的《化学安全工学》中的一节。《化学安全工学》较丰富，各章节的独立性也较强。《锅炉爆炸和蒸气》除了列举了许多在日本发生的锅炉及受压容器爆炸论述盛装液化气体的容器发生破裂的同时发生的蒸气可能随之引起的二次混合气体爆炸，包括这些爆炸计算以及危害波及范围等。考虑到这一节对锅炉受作者有较大的参考价值，而且又与其他章节没有什么先单独译出，以供有关人员参考。

教授  
对比  
一节  
重点  
没有  
测量  
工程  
所以

## 7.7 锅炉爆炸和蒸气爆炸

### 7.7.1 锅炉爆炸

锅炉是在密闭的容器中把水加热到 $100^{\circ}\text{C}$ 以上以产生高压水蒸汽的一种设备，因此，它与前述的高压气体容器一样，存在着有发生破裂事故的危险。即由于锅体的腐蚀、疲劳、裂缝、烧坏等而降低承压能力，或由于温度过高使内部压力上升，以致发生锅筒、水管等被压坏，膨胀变形和破裂等事故。特别是由于锅水中含有二氧化碳、氧气、氯气等的影响，锅筒内会出现斑点腐蚀，或由于反复地加热与冷却而引起附加应力容易因疲劳而产生裂缝，锅炉的破裂事故大多是由于这些原因而产生的。

除了这样一些破裂事故以外，锅炉还常常发生非常激烈的爆炸事故。这是大家都熟知的。锅炉爆炸的激烈程度与炸药或混合气体的爆炸相似。现把过去发生的锅炉爆炸事例列举如下：

1948年（昭和23年）东京市荒川区有一直径74厘米、高1.13米、壁厚5毫米，使用压力为4公斤/厘米<sup>2</sup>的小型立式锅炉发生爆炸，重180公斤的锅筒从底部脱离，以与地面约成 $70^{\circ}$ 的角度飞起，落在与原来位置相距约50米的地方。

1932年（昭和7年）在神户有一个直径为57厘米、高123厘米的立式锅炉发生了同样事故。110公斤的锅筒飞出275米远。同年在佐贺县有一个兰开夏锅炉（直径1.83米、长18.84米、最高许用压力4.6公斤/厘米<sup>2</sup>、常用压力2.8公斤/厘米<sup>2</sup>）发生爆炸，约2吨重的锅筒的一部分飞出85米。

1927年（昭和2年）东京深川有一立式锅炉（直径1.06米，高2.1米）在使用压力5.2公斤/厘米<sup>2</sup>时发生爆炸，锅筒

飞上高空，落在离原来地点约55米的地面上。

1920年（大正9年），在大阪发电厂有一台拔柏葛水管锅炉（直径1.37米，最高许用压力11.2公斤/厘米<sup>2</sup>），在使用压力为7公斤/厘米<sup>2</sup>时因锅筒接缝裂开引起大爆炸，死亡3人。

1910年（明治43年）绪明造船厂有一直径1.5米，高2.8米的立式锅炉（最高许用压力4.2公斤/厘米<sup>2</sup>，使用压力为1.5公斤/厘米<sup>2</sup>）因炉膛底部周围被腐蚀而撕裂，除被压坏的炉膛残存外，重量1.2吨的锅筒被抛至离原地200米的海中，造成2人死亡。

1909年英国制铁厂3台兰开夏锅炉（直径2.3米，长9.14米，使用压力3.5公斤/厘米<sup>2</sup>）同时发生爆炸，最先爆炸那台锅炉粉碎成50块碎片飞散出去。1912年美国有4台水管式锅炉同时发生爆炸。

此外还有许多锅炉爆炸事故的记载。从这些记录来看，发生激烈爆炸的锅炉，都不是因为超压运行这是很明显的。如果破裂仅仅发生在锅筒或水管的一部分，那只是发生水蒸汽或热水的洩漏而并不会引起炉体的大爆炸。锅炉大爆炸主要是在锅筒内液面上部的蒸气室发生破裂，封头飞出，或者是立式锅炉炉膛底部接缝裂开，在这种情况下，必须迅速把锅炉内的压力放掉。为什么锅炉爆炸时会如此激烈呢？这可以用下面的方法来解释。

一般锅炉的使用压力大体都在1—15 Kg/cm<sup>2</sup>的范围内，锅筒内与蒸汽压力平衡的热水温度约为120—200℃，当锅筒发生破裂时，假定筒内压力很快降至常压，锅内的热水因在常压下变成过热状态失去平衡，水便迅速变成蒸气。热水完全变成100℃的水蒸汽时，其体积大约要增加到1700倍以上。由于锅筒内蒸汽体积的剧烈增加，就导致了锅筒进一步开裂，同时喷出大量蒸汽。由于喷出蒸

气的推进作用而使锅筒向空中飞出。

斋滕和芳贺曾对上述1948年发生的锅炉爆炸事故进行过爆炸时热能的计算。一般有压力的饱和水绝热膨胀为常压时，其所作的功按下式计算：

$$U_w = [ (i_1 - i_2) - (s_1 - s_2) T_2 ] M_w \times 427$$

(公斤—米)

式中  $U_w$  为1公斤锅水放出的热量， $i_1$ 、 $s_1$  为在使用压力下1公斤饱和水的焓和熵， $i_2$ 、 $s_2$  为1大气压，100℃的1公斤饱和水的焓和熵， $T_2$  为100℃的绝对温度， $M_w$  为锅水重量，1千卡的热相当于427公斤—米的功。

实际爆炸时锅炉的使用压力为4公斤/厘米<sup>2</sup>，因此，当  $i_1 = 152.6$ ， $i_2 = 100$ ， $s_1 = 0.4460$ ， $s_2 = 0.3115$ ， $T_2 = 373$ ， $M_w = 183$  时计算得  $U_w = 190 \times 10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}$ ，加上（使用压力下）水蒸汽断热膨胀所作的功，则全部能量为  $U = 221 \times 10^3$  公斤—米。

另外，爆炸时，锅筒飞起的角度与地面成  $70^\circ$ ，落下地面与原来位置的距离  $D = 50$  米，初速  $V$  按下式计算

$$V = ( D g / \sin 2\theta )^{\frac{1}{2}} \text{ [米/秒]}$$

$$g = 9.8 \text{ M/sec}^2,$$

计算得出速  $V = 27.6$  米/秒，考虑到空气的摩擦力等，设锅筒初速为30米/秒，则将锅筒抛出所作的功  $w$  为

$$w = \frac{1}{2g} M_B V^2 \quad \text{[公斤—米]}$$

式中  $M_B$  为被抛出锅筒的重量，按  $M_B = 180$  公斤计算，则得  $w = 8.26 \times 10^3$  公斤—米。

锅水放出的能量 $U$ 与将锅炉抛出所用的能量比较起来,后者仅为前者的 $1/26$ 。所以仅仅是爆炸时所放出热能的一部分就可以把罐体抛出相当远的距离。锅炉内装的水越多,热能放出量也越大,爆炸时灾害之大是可以想象得到的。

从这些事例可以看出,被加热至 $100^{\circ}\text{C}$ 以上的过热状态的水,处在大气压力下即会突然沸腾起来,迅速蒸发成蒸汽,体积膨胀以爆炸的现象显现出来,这种热水,叫作爆炸水。

### 7.7.2 水蒸汽爆炸

在冶金、铸造、电炉等高温作业中,常常有熔化金属与水接触的情况,这些水瞬间即成为前面所讲的爆炸水,并蒸发出大量水蒸汽,使体积迅速膨胀,形成激烈的爆炸现象,这种现象叫做水蒸汽爆炸。

这种事例曾在某一钢铁厂发生过。电炉溶化的钢水倒入一个2吨的钢水包内,当用吊车吊走时,因操作人员操作错误,致使钢水包倾倒。钢水流进一地坑( $2 \times 2 \times 2$ 米)中,它下面由于地下水的渗透而积水。钢水流入后,即引起水蒸汽爆炸,钢水穿过车间的侧壁与房顶飞溅出去,附近的十多名操作人员和来学习的学生受到程度轻重不同的烧伤。附近的办公室引起火灾,遭到烧毁。

高温物体与水接触发生爆炸事故还有溶化的铸铁水、电石、高温的焦炭等,例如从电炉流出口流出的铸铁水与积聚在工作台下的水相接触也引起过水蒸汽爆炸,在熔化的金属钠锭上浇水就会产生强烈的燃烧。反之,如在水滴上面浇上液体钠,则水滴立即会发生水蒸汽爆炸,这种情况比前者更厉害,它可以把钠块抛起。

把水倒入浓硫酸中引起爆炸可以解释为由于反应热引起水蒸汽爆炸,汽油库发生火灾时所经历的爆炸现象以及火山爆发也可以认为里面同时发生水蒸气爆炸。所以在电炉、火炉以及其他进行高温物体作业的地方,地面上要经常扫除积水,保持干燥,特别是在地坑内,要

采取防水与排水措施。以免积水。要防止电炉电极内的冷却水与凝缩水从电炉滴下来以及发生漏雨等情况。

### 7.7.3 有机液体和液化气体的蒸汽爆炸

与蒸汽锅炉一样会发生爆炸事故的还有加热介质为有机液体的锅炉。1956年某中间实验室有一容积为30升，外径35厘米，长60厘米，壁厚3.5毫米的卧式圆筒形加热器。该容器内部有约20升的SK油（沸点 $263^{\circ}\text{C}$ ）常用压力2公斤/厘米<sup>2</sup>，在加热至 $320^{\circ}\text{C}$ 时，突然一侧封头焊缝脱裂。器内液体大量喷出。筒体由于液体喷射的反作用力向水平方向飞去。破坏了实验室内各种设备，撞至旁边的墙上。由于喷出的油蒸气着火，引起室内二次气体爆炸，实验室的屋顶及墙壁全部破坏。这仅仅是使用压力为2公斤/厘米<sup>2</sup>的过热状态下的油，由于迅速降压引起蒸汽爆炸的破坏作用的一个事例。

前面所讲的水蒸气爆炸现象不一定只限于水。除水以外的其他液体也会产生这种现象。就是说，处于高压下的各种液体，只要具备条件就有可能随着激烈的蒸发而产生爆炸现象。这种现象叫做蒸汽爆炸。

一般说来，装有液体的密封容器如果遇到象穴灾那样的外部加热，由于蒸汽压上升，在器壁发生破裂的同时，容器内气液两相状态失去了平衡，也可以发生蒸汽爆炸。

另外，沸点在常温以下的液化气体装在密闭容器中，如果容器破裂，就是在常温下也有可能发生蒸汽爆炸（7.7.5）。

如果是可燃性液体，由于蒸汽爆炸引起容器破坏，大量可燃性的蒸汽混入空气中，必然会在空气中引起第二次混合气体爆炸，危害将进一步扩大（7.7.4，7.7.5）。如果是非可燃但是有毒的气体，蒸汽爆炸的结果将会引起大范围的中毒事故。（7.7.5(3)）

因此，对有贮藏盛装液氨、丙烷、液氮、液化二氧化碳等高压气体以及环氧丙烷、乙醚、乙醇等有机液体的密闭容器的地方，必须事先考虑到蒸汽爆炸的危险。

现在把几种有代表性的液体在发生蒸汽爆炸时体积增加的倍率概算列如 7.9 表。在表中列举了计算蒸汽爆炸时所必需的分子量 ( $M$ ) 比重 ( $d$ )，比热 ( $O$ )，蒸发热 ( $q$ )，沸点 ( $\theta$ )，蒸汽压力为 30 个绝对大气压时的液体温度 ( $t$ )，临界温度 ( $t_c$ )。(表见页)

容器内装的液体为  $W$  [kg]，假定容器的爆炸压力为 30 大气压。如将容器内的液体加热至达到容器爆破的蒸汽压力，其温度为  $t$  [°C] 容器发生开裂，内部蒸汽从裂口喷出，短时间内容器内部压力降至 1 大气压，液体因失去平衡而被迅速冷却至其沸点  $\theta$  [°C]。

到液体所放出的热量  $Q$  为

$$Q = W O (t - \theta) \text{ [kCal]} \quad (7.1)$$

如果所放出的热量全部用于把容器内部的液体蒸发，则发生的蒸汽量  $W'$  为

$$W' = Q / q = W O (t - \theta) / q \text{ [mol]} \quad (7.2)$$

$$= M W O (t - \theta) / 1000 q \text{ [kg]} \quad (7.2')$$

这些蒸气在沸点时的体积  $V$  为

$$V = 22.4 \times W O (t - \theta) / q \times (273 + \theta) / 273 \text{ [ℓ]} \quad (7.3)$$

而容器内液体原来的体积  $V$  为

$$V = W / d \text{ [ℓ]} \quad (7.4)$$

则由于失去平衡状态后发生的蒸汽体积与原来液体体积之间的倍率为

$$V / v = d O (t - \theta) (273 + \theta) / 12.2 q \quad (7.5)$$

因为这时容器内剩下的液体体积与所产生的蒸汽的体积比较起来是很少的，可以忽略不计。

第7·9表与各种液体蒸汽爆炸有关的数据

| 液体名称 | 分子量(M) | 比重<br>( $\text{kg}/\text{l}$ ) | 比热<br>( $\text{cal}/\text{g}/\text{deg}$ ) | 蒸发热<br>( $\text{kcal}/\text{mol}$ ) | 沸点<br>$t_b$ (°C) | 30气压下<br>的液温 $t$ (°C) | 临界温度<br>$t_c$ (°C) | 蒸汽爆炸体<br>积倍率 $V/v$ |
|------|--------|--------------------------------|--------------------------------------------|-------------------------------------|------------------|-----------------------|--------------------|--------------------|
| 液氮   | 17     | 0.62                           | 1.10                                       | 5.6                                 | -33              | 69                    | 132.3              | 240                |
| 丙烷   | 44     | 0.58                           | 0.59                                       | 4.5                                 | -45              | 79                    | 96.8               | 180                |
| 液氯   | 71     | 1.44                           | 0.23                                       | 4.9                                 | -34              | 82                    | 144.0              | 150                |
| 异丁烷  | 58     | 0.60                           | 0.55                                       | 5.1                                 | -0.5             | 141                   | 152.0              | 200                |
| 乙烯   | 44     | 0.90                           | 0.44                                       | 6.1                                 | 11               | 150                   | 192.0              | 210                |
| 氢氟酸  | 27     | 0.70                           | —*                                         | 6.0                                 | 26               | 154                   | 183.5              | 200~370            |
| 环氧丙烷 | 58     | 0.83                           | 0.51                                       | 5.2                                 | 34               | 182                   | 215.3              | 300                |
| 乙醚   | 74     | 0.72                           | 0.54                                       | 6.3                                 | 35               | 183                   | 194.0              | 230                |
| 乙醇   | 46     | 0.79                           | 0.60                                       | 9.2                                 | 78               | 203                   | 243.0              | 190                |
| 水    | 18     | 1.00                           | 1.00                                       | 9.7                                 | 100              | 235                   | 374.2              | 420                |
| 苯    | 78     | 0.88                           | 0.42                                       | 7.6                                 | 80               | 250                   | 289.0              | 240                |
| 已烷   | 80     | 0.66                           | 0.53                                       | 6.9                                 | 69               | > $t_b$               | 234.7              | —                  |

註• 按  $c = 0.5 \sim 1.0$  计算

所以在蒸汽爆炸时，液体的蒸发比为

$$\begin{aligned} 100 W' / W &= 100 M W_c (t - \theta) / 1000 q = W \\ &= M c (t - \theta) 10 q \quad (\%) \quad (7.6) \end{aligned}$$

同样，在容器内压为30大气压时，内部的蒸汽量忽略不计。

当然，这个计算从热力学方面来看，不是一个很严密的，这仅仅是为了求出计算蒸汽爆炸时体积倍率增加概算值的近似式。对第7.9表所列的各种液体，如按上式计算它的体积倍率 $V/v$ ，则所得数值即为表中右面一行的值，约为150~240。

因此，随着容器的裂开，气液两相失去平衡，瞬间容器内部处于过热状态的液体因蒸发而体积激烈膨胀，此时液体内部各处都充满着气泡，液体体积的激烈膨胀使它充满整个容器，瞬时，容器的外壳会受到100个大气压以上的压力的冲击，容器将会破碎。根据以往的经验，蒸汽爆炸时容器的断面往往显示出冲击的脆性破坏断面的特征，由此可以证实冲击高压的发生。

从公式(7.5)来看，体积增加倍率与同一液体的 $(t - \theta)$ 成正比例。由于 $t$ 的小量变化会使蒸汽压力大为变化，因此，即使容器的承压能力低于30大气压，体积增加倍率也不会有太大的变化。

在第7.9表中，已烷的蒸汽压达到30大气压时的温度已经超过了它的临界温度。此时已不存在气液两相状态，所以容器内的压力即使到了30大气压以上，也不会发生已烷的蒸汽爆炸。

深冷液化气体，如液氧、液氮等，一般都不装在密闭容器内。因为在沸点或沸点以下的温度下进行低温贮藏，所以一般也不会发生蒸汽爆炸。

关于受压容器的安全装置在内部的液体蒸汽压上体而开放时是否可能发生蒸汽爆炸的问题，一般来说，由于安全装置喷出口的面积很小，当它开放时，容器内的压力不会大幅度下降，所以仅仅是安全装

置的开放也不会发生蒸汽爆炸。

关于蒸汽爆炸时所产生的压力变化问题，目前还没有实验数据，有待今后测定。

#### 7.7.4 伴随蒸汽爆炸而产生的二次混合气体爆炸

假如在容器内贮装有一定体积的可燃性气体发生蒸汽爆炸，并在空气中完全燃烧，其生成的高温燃烧气体的体积以及在地面扩散时影响的范围可用下法计算：

以可燃性液体碳氢化合物为例，为计算方便，分子式作为  $C_n H_{2n}$  ( $n = 3 \sim 6$ )，分子量为  $M$ ，分子比容为  $v$ ，液体比重为  $d$  时，

$$M = 12n + 2n = 14n \text{ (g/mol)} \quad (7.7)$$

$$v = 14n / d = 17.5n \text{ (m}^3/\text{mol)} \quad (7.8)$$

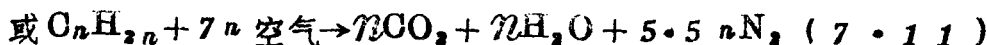
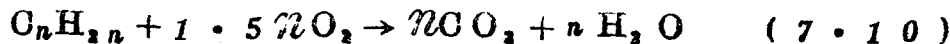
这里，假定  $d = 0.8$

1 mol 的液体蒸发为  $20^\circ\text{C}$  的蒸气时，其体积约为 24 升，因此一般的碳氢化合物液体蒸发成为

$$24000 / 17.5n = 1370/n \text{ 倍} \quad (7.9)$$

的体积的蒸气。

碳氢化合物完全燃烧的反应式为



因为所需的空气量为  $1.5n / 0.21 = 7n$  倍，所以一定体积的蒸气完全燃烧时所产生的混合气体的体积为  $(7n + 1)$  倍

那么，一定体积的可燃性液体完全燃烧时产生的爆炸混合气体的体积的倍率为

$$1370(7n + 1) / n = 9590 + 1370/n \text{ [倍]} \quad (7.11)$$

上式中，如  $n = 3$ ，则为 10050 倍， $n = 6$ ，则为 9820 倍，按

平均考虑，可以认为爆炸性混合气体的体积为原液体的1万倍。

假定在空气中着火后生成的气体温度达 $1500^{\circ}\text{C}$ ，则此时气体体积由于温度升高而膨胀6倍，即

$$(273 + 1500) / (273 + 20) = 6 \text{ [倍]} (7.13)$$

在反应式(7.11)中，由于两边的 $\text{mol}$ 数变化较小，可以忽视不计。

这样，在常温下一定体积的可燃性碳氢化合物液体在空气中爆炸性地完全燃烧时，它所生成的达 $1500^{\circ}\text{C}$ 的高温燃烧气体的体积将等于原有液体体积的60000倍。

如果贮罐中贮存有1立方米的可燃性液体，爆炸时燃烧气体的体积将达 $60000 \text{ M}^3$ ，假定它以半球形向地面上扩散，其半径 $r$ 为

$$(1/2)(4/3)\pi r^3 = 60,000$$

$$\therefore r = 31 \text{ M}$$

$$(7.14)$$

就是说，以贮罐为中心在直径为60米，高30米的范围内的木材建筑以及其他可燃物都会着火，在这范围内，人的衣服也会着火以致全身烧伤。

这种蒸汽爆炸后的二次混合气体爆炸，其范围之广，危害之大是难以估量的，所以可燃性有机液体的蒸汽爆炸所产生的危害，绝非锅炉爆炸所能比拟的。必需特别引起注意。

在蒸汽爆炸之后，正如(7.6)式所示那样，液体大部分在一瞬间即蒸发成蒸汽，留下一部分液体将成雾状散于空气中，因此，在空气中发生着火时，这种雾状的液滴会在产生混合气体爆炸的同时象粉尘爆炸那样发生爆炸。所以正如上面的计算那样，可以把容器内的全部液体都看作是在空气中发生了爆炸性的完全燃烧。

另外，应当认为，容器破裂时破片的冲击给爆炸提供了火源。

这里顺便谈一下，冬季在火堆旁烤火，由于手上拿着汽油往火

堆中浇而引起全身烧伤，这里经常能看到报导的事。假如将1升汽油浇在火堆中，由于火堆的温度高而被蒸发，完全燃烧以后约产生60米<sup>3</sup>的燃烧气体，则至少在半径为3米的范围内被高温气体所笼罩，一个人手臂的长度最多也不过75厘米，所以他必然全身都处在高温气体的包围之中而被烧伤。这些事情不是所有人都知道的，但应引起注意。正当的做法是应先浇上汽油然后再点火。如果往燃烧的火堆中浇汽油，那是很危险的。

### 7.7.5 蒸汽爆炸事故实例

引起蒸汽爆炸的液体受热的热源有：(a)火灾或人为地对容器外部进行加热；(b)液体的氧化、分解、聚合，在容器内积聚的反应热。这些是主要的；另外还有：(c)液化气体并未受热，但由于容器强度不够而破裂，这在常温下也可以引起蒸汽爆炸。

第1、2表列举了5种类型的爆炸（指混合气体爆炸、气体分解爆炸、粉尘爆炸、混合危险品爆炸和可燃物爆炸）——译者注）都是需要火源的，唯有蒸汽爆炸例外，它仅仅是由于失去平衡状态就可以发生，而不需明火。

为了预防蒸汽爆炸，必须防止容器的破裂或对容器内的液体进行加热。由于容器原来的承压能力太低或液体温度上升而引起容器破裂、蒸汽爆炸，然后产生混合气体爆炸这样一系列的连锁反应的灾害事故，其危害性是惊人的，只有认识这一事实，才会积极使这样的大灾害防患于未然。

关于锅炉爆炸以及水蒸汽爆炸的事例在前面已列举了许多，这里再列举一些除水以外的液体的蒸汽爆炸所产生的事故。

#### (1) 液化石油气体贮罐爆炸

1964年（昭和39年）9月14日午后2时7分，茨木市一

个液化石油气体充装站的10吨卧式园型贮罐在槽车往罐中卸放液体时，由于车体移动，软管接头断裂，喷出大量液化石油气体，造成火灾，烧伤死亡3人。

由于喷出火焰，10吨的贮罐受热，装在贮罐人孔上的安全阀开放喷出气体着火，（如图7·16）但安全阀的排放能力很小，罐内

图7·6

压力不断上升，贮罐顶部被火焰加热达到 $650^{\circ}\text{C}$ ，钢材强度大大下降，终于在罐的顶部发生纵向破裂，罐内剩存6吨过热状态的液化石油气发生蒸汽爆炸，当时罐内的压力估计在30公斤/厘米<sup>2</sup>左右，内部液化石油气的温度约 $80^{\circ}\text{C}$ 。贮罐破裂的同时发生蒸汽爆炸可以从下面的事实得到证实。

贮罐用高强度钢2E（抗拉强度63公斤/毫米<sup>2</sup>）制成，内容积23·5米<sup>3</sup>，全长4518毫米，内径2727毫米，罐体板厚19毫米，最高使用压力18公斤/厘米<sup>2</sup>，安全阀的开放压力为24公斤/厘米<sup>2</sup>，水压试验压力30公斤/厘米<sup>2</sup>。罐壁呈脆性破坏，壳体被压平，并向相反方向翘曲飞出，直径40厘米的人孔接管由于冲击从园周方向断裂开。（图7·17）

图 7 · 1 7

将破坏后的贮罐的破片复原，其裂开线为第 7 · 1 8 图所示。罐顶最先裂开的部位为塑性破坏，罐内的液体从顶部裂口向上喷出，爆炸时升起 4 0 米高的大火柱，致使邻近的房屋起火。爆炸气浪把建筑物推倒。5 0 0 米远的门窗玻璃全部破坏，从玻璃破坏具有一定的方向性可以看出是由于蒸汽爆炸时产生的冲击波所造成。

这种事故的预防措施首先是防止装入液化石油气时产生洩漏。

其次是防止贮罐因外界着火而被火包围时发生破裂，如安全阀排放面积的考虑以及设置冷却用喷水装置和隔热装置等都是必要

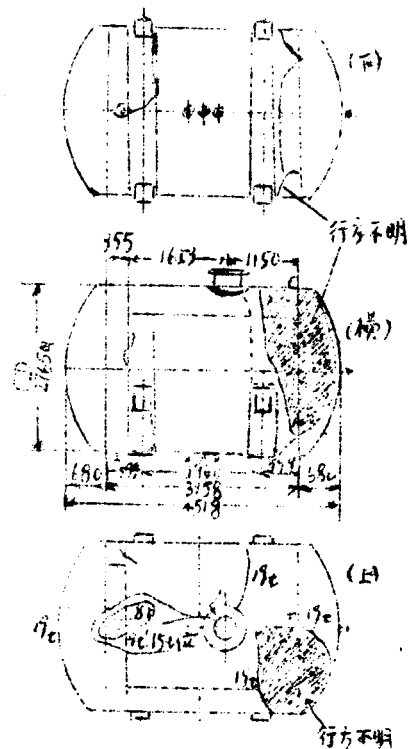


图 7 · 1 8

的。贮罐喷水装置的放水阀门必须安装在火灾时人能接近的地方。

## (2)环氧丙烷贮罐爆炸

1964年6月11日午后3时6分，川崎市化学工厂的粗制环氧丙烷贮罐被发现附近冒白烟，正在联系中，数秒钟后贮罐即爆炸，死18人，伤117人。

发生爆炸的贮罐是一个用SS41钢制成的、容积约14米<sup>3</sup>的焊接立式容器，上部有人孔，下部焊有裙式底座圈，底座圈放在六角形的钢筋水泥基座上。

一般受内压的薄壁容器的周向应力为

$$\sigma = p r / t$$

式中 $p$ 为容器破裂压力， $r$ 为容器半径， $t$ 为壁厚。当 $\sigma = 41$ 公斤/厘米<sup>2</sup>， $t = 6.0$ 毫米， $r = 990$ 毫米时，

$$p = \sigma t / r = 4100 \times 6 / 99 = 25 \text{ 公斤/厘米}^2$$

环氧丙烷  $\text{CH}_2 - \underset{\text{O}}{\text{CH}} - \text{CH}_2$ ，是沸点为34℃的液体，它的各

种性质的测定值为第7.9表所示。它在170℃时的蒸汽压力25个大气压（绝对）182℃时的蒸汽压力为30大气压（绝对），贮罐要达到破裂压力，罐内液体的温度必需达到170—180℃。

环氧丙烷由于有羟基的存在会产生阴离子的聚合，聚合热的积聚将使温度升高，聚合热约为18 Kcal/mol，所以只要有一部分液体产生聚合即会达到上列温度，温度上升，内部压力增高，贮罐的玻璃液面计损坏，从液面到底部小孔喷出液体，四周即会冒白烟。当贮罐内部压力继续上升并达到罐体的破裂压力时，开始可能是沿纵向开裂，喷出蒸汽后内压下降，内部处于过热状态的环氧丙烷即发生蒸汽爆炸，罐体进一步破裂，破片四面飞散。

爆炸后，贮罐顶部的人孔接口从焊接的根部破裂飞落在距离170

米，高31.7米的墙根下，上封头在与圆筒部分联接的焊缝裂开，筒体大部分在纵向裂开并沿与上下封头联接的焊缝切断，外侧板以向内折曲的状态飞散，底封头在与底座圈联接的焊缝裂开，飞至15米远的地面上。

搅拌机用电动机被抛至相反方向80米的地上，搅拌机轴，搅拌翼也落在电动机相同的方向。

底座圈与底板连在一起沿着第二次焊接线被切断，但它在 $180^{\circ}$ — $270^{\circ}$ 这一部分受着很大压力，因而弯曲倾斜把底板下面的一吋半管子压扁。（图7·19、图7·20）

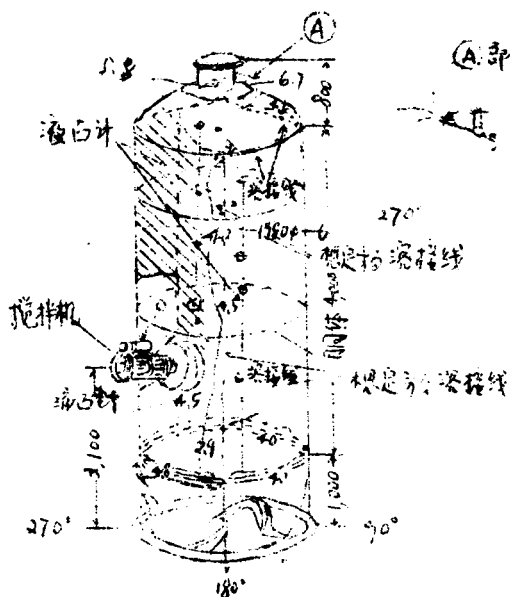


图7·19

图7·20

底座圈下面的水泥垂直面基础下沉1厘米，基础各处都产生可能是由于高压而引起的裂缝。（图7·21） $0^{\circ}$ — $90^{\circ}$ 方向的基础破坏，说明贮罐底座圈部分从此方向飞出。

这一事实，说明贮罐外面有强大的压力，爆炸中心约在 $225^{\circ}$ 的方向，在贮罐外面搅拌翼附近的位置上，当时运转中的搅拌翼显