

嘉定区沪宜公路 5958 号其他爆炸事故

事故原因技术分析报告

委托单位：嘉定区安全生产监督管理局

完成单位：华东理工大学安全工程咨询中心

2018 年 8 月

目 录

一、调查工作背景	3
1、事故发生情况	3
2、事故单位信息	3
3、事故原因调查工作委托	4
4、此次调查工作的目标	5
二、调查工作主要经过	5
三、调查工作思路与方法	6
1、调查工作思路	6
2、调查工作方法	6
四、事故原因的调查与取证	6
1、事故现场平面布置	6
2、事故车间平面布置	7
3、事故现场情况	9
4、受伤员工访谈	26
5、目击证人访谈	26
五、事故原因的推断	27
六、事故原因推断分析的过程	28
1、粉尘爆炸的排除	28
2、爆炸部位的确定	30
3、爆炸性物质的确定	31
4、爆炸性混合物构成条件的确定	33

5、引燃引爆（点火）条件的确定.....	33
6、火焰传播/爆炸传播过程的确定.....	34
七、结论.....	35

嘉定区沪宜公路 5958 号其他爆炸事故 事故原因技术分析报告

一、调查工作背景

1、事故发生情况

本报告是有关“嘉定区沪宜公路 5958 号其他爆炸事故”发生原因的调查技术分析报告。

该事故发生的时间，是 2018 年 8 月 9 日上午 10 时 35 分许；事故发生的地点，位于嘉定区沪宜公路 5958 号上海嘉定外冈电镀有限公司厂区内一违法建筑内；事故类型判定为其他爆炸事故。

该起事故共造成 9 人受伤，其中 6 名人员烧伤严重，3 名人员受伤程度较轻。6 名烧伤严重人员，事故发生后立即被送往瑞金总院救治，灼伤程度均达到 II-III 度，其中 3 人伤势危重——2 名灼伤面积达到 90%以上，1 名灼伤面积达到 70%；其余 3 人的灼伤面积分别为 35%、20%和 15%。3 名受伤程度较轻人员，除遭受灼烫伤害外，还遭受到了物体打击伤害，被送往嘉定区中心医院救治。

2、事故单位信息

此次事故发生的地点，位于上海嘉定外冈电镀有限公司的一处违法建筑物内，由自然人承租该场地并组织生产，未办理过相关准入手续。该自然人的姓名为“常江”，为简化表述，本报告采用

“事故单位”的提法，概指事故场所及自然人常江所组织的生产经营活动。

事故发生地位于嘉定区外冈镇沪宜公路 5958 号原上海嘉定外冈电镀有限公司内，该公司 2016 年因未通过环保整治而停止生产。

2016 年 3 月 29 日，上海嘉定外冈电镀有限公司法定代表人邹银泉，将厂房出租给上海美净企业发展有限公司。

2017 年 12 月 15 日，上海美净企业发展有限公司经营负责人杨源，又将其中部分场所转租给自然人常江（安徽省怀远人）。

转租给常江的区域，原本为厂区的消防通道，其西侧是厂房，东侧为厂区围墙。上海嘉定外冈电镀有限公司在之前的使用过程中，在消防通道上方搭建了顶棚，上海美净企业发展有限公司在转租给常江后，常江又对这个空间进行了改造，重新修了顶棚，与原来的主体厂房进行隔断，并在厂区东侧围墙上开设了门，从宝钱公路 4900 号另一公司的门口进出。

常江租赁此场所后，未办理相关准入手续，擅自在其中从事金属五金件的抛光加工生产。

3、事故原因调查工作委托

事故发生后，市、区领导高度重视，要求全力救治伤员、加强现场处置、科学施救、抓紧事故调查，查明原因，举一反三，防止类似事故的再次发生。同时，部署并明确了相关政府部门的后续工作。

嘉定区安监局为落实此次事故后续工作的部署，委托华东理工大学安全工程咨询中心会同有关专家，对此次事故的发生原因，开展调查分析工作。调查分析结果，将用作嘉定区政府“8.9”事故调查组《事故调查报告》的技术支撑与依据。

4、此次调查工作的目标

此次事故原因调查分析工作的目标是：

- (1) 从技术层面，调查分析此次事故发生的直接原因；
- (2) 撰写并向事故调查组提交此次事故发生原因调查的技术分析报告。

二、调查工作主要经过

此次事故调查涉及的主要工作及经过，参见图 1。

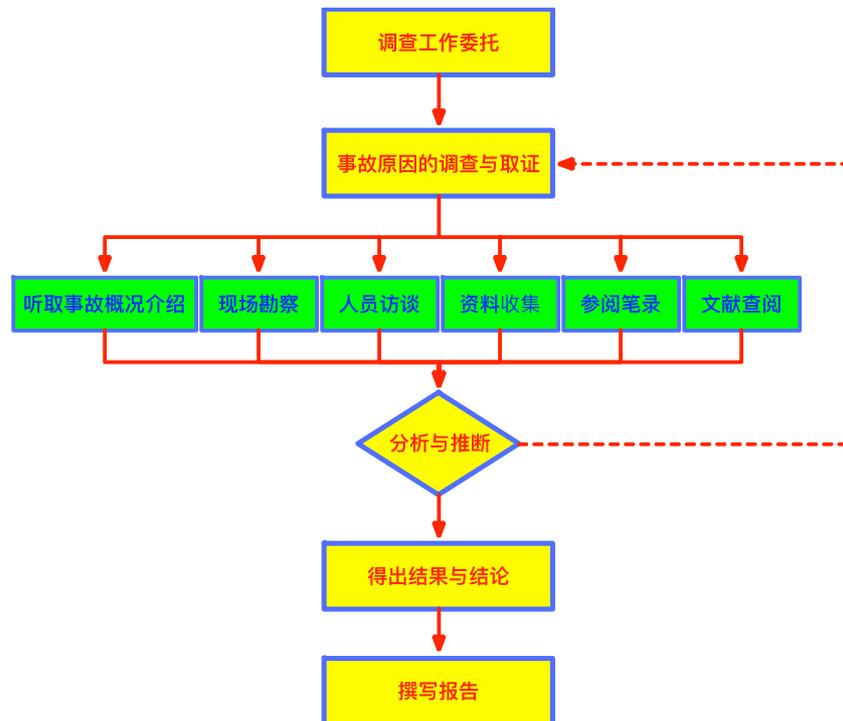


图 1 事故调查工作的主要历程

三、调查工作思路与方法

1、调查工作思路

调查工作的思路是，在勘察事故现场、了解生产系统及其运行操作方法、收集人证物证及事故事实信息等工作的基础上，分析判断事故发生的原因。

2、调查工作方法

事故原因调查分析过程中，主要涉及下列思维方法的运用：

- (1) 归纳法；
- (2) 演绎法；
- (3) 类比法。

四、事故原因的调查与取证

1、事故现场平面布置

此次事故发生在上海嘉定外冈电镀有限公司厂区内，由于存在复杂的转承包关系，本报告采用编号的方式，对事故现场的建构筑物进行描述。

此次事故现场的建构筑物及布置情况，参见图 2。

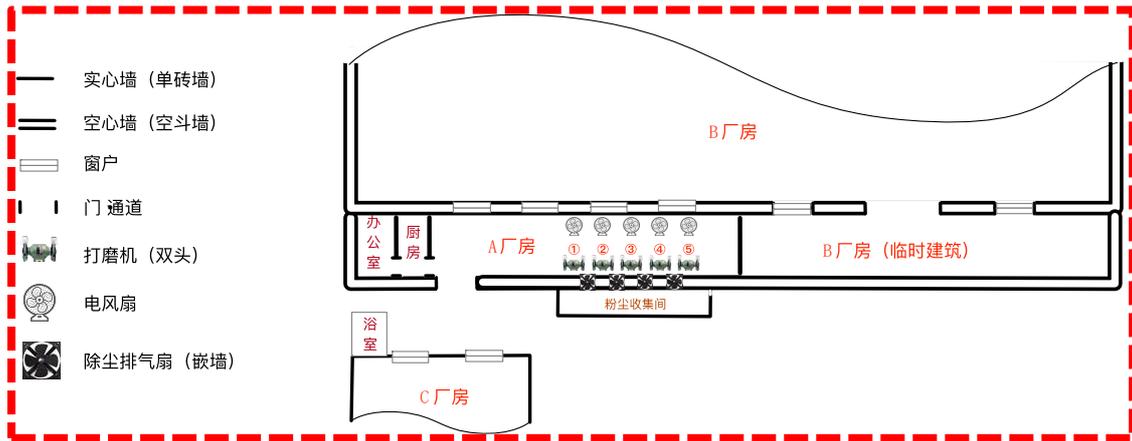


图 2 事故现场建构筑物及其布置情况

主要情况是：

- (1) A 厂房为事故单位厂房；
- (2) B 厂房为标准化厂房建筑，B 厂房与其临时建筑物之间，有进出口通道相连；
- (3) A 厂房与 B 厂房临时建筑均依附于 B 厂房搭建而成，均采用轻质屋顶，具有一次成型砌成的外围墙体，两者之间采用砖墙进行了分隔；
- (4) A 厂房外，紧贴围墙，建有粉尘收集间，其上覆盖有轻质的彩钢板屋顶；
- (5) 在 A 厂房的对面，建有 C 厂房。

2、事故车间平面布置

事故单位（事故车间）内的布置情况，参见图 3。

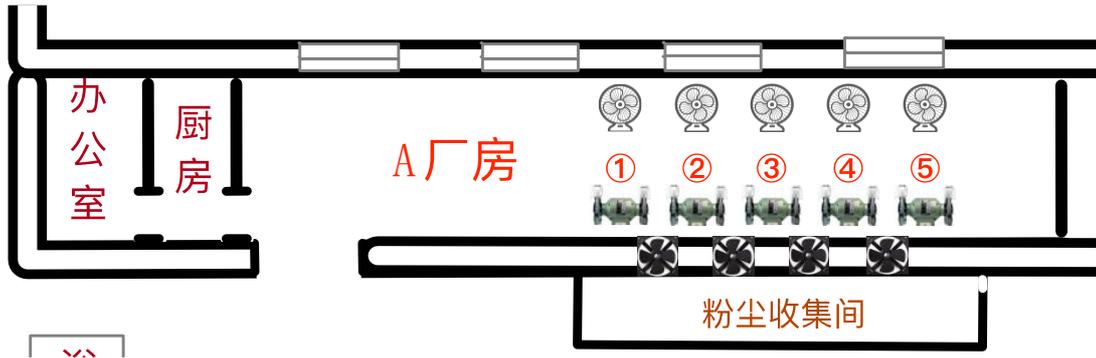


图 3 事故单位（事故车间）内的布置情况

主要情况是：

（1）事故单位设置在依附于 B 厂房搭建的建筑物（报告代称 A 厂房）内，设置有轻质屋顶；在其外墙外，搭建有粉尘收集间，其墙体由单砖砌成，其上覆盖有轻质屋顶，屋顶设置有排气管道；

（2）A 厂房内，由图示位置，自左而右，分别设置有办公室、厨房、物料暂存区或缓冲空间或人员临时驻留区域（下称暂存区），以及生产区域（或称生产车间）；厨房间和办公室，均设有单砖墙的分隔，其上开设有门；在暂存区和邻近厨房一边外墙上，开设有进出人与货的通道，通道上设置有卷帘门；

（3）生产区域，设置有 5 台双头打磨机（即每台打磨机可同时供两人进行打磨作业），打磨机紧贴外墙设置（为方便叙述，报告按照由外向里的顺序，对打磨机进行编号，①~⑤号打磨机的位置，参见图 3）

（4）在两台打磨机之间对应的外墙上，贴近地面位置，安装有除尘用的排气扇；在打磨机对应的外墙上端位置，另安装有三台排气扇；

(5) 在每一台打磨机（作业人员的）后方，对应设置有电风扇；

(6) 在暂存区，放置有一台空压机（用于吹扫粉尘）；

(7) 生产区域的底端，砌有空心与实体相混的砖墙。（与 B 厂房临时建筑相隔离）。

3、事故现场情况

(1) 事故类型定性取证情况

事故现场勘察情况显示，此次事故既有爆炸的痕迹，也有燃烧的痕迹。

A、爆炸痕迹的取证

事故现场多处存在爆炸的痕迹。爆炸痕迹取证举例如下：

①事故单位暂存区的外墙和屋顶坍塌（参见图 4、图 5）；



图 4 暂存区处屋顶和墙体坍塌情况-1



图 5 暂存区处屋顶和墙体坍塌情况-2

②粉尘收集间墙体发生偏移（图 6）；



图 6 粉尘收集间墙体（中上部）破损、偏移

③暂存区外墙墙体，在冲击波作用下，砖头散落到事故单位厂房内侧（B 厂房外侧）的窗户处，导致玻璃破碎、窗户变形（图 7、

图 8)；导致封堵用彩钢板变形（图 9）；导致多处墙体受损（图 10、图 11）；

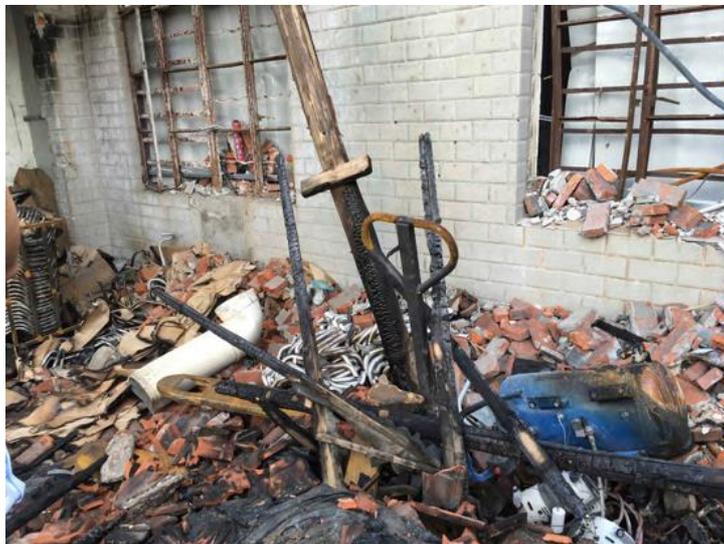


图 7 暂存处外墙墙砖飞落至事故单位内部的情况（窗户破损、变形）-1



图 8 暂存处外墙墙砖飞落至事故单位内部的情况（窗户破损、变形）-2



图 9 冲击波致封堵（B 厂房）用彩钢板变形



图 10 爆炸（炸飞的砖头）导致（B 厂房外墙）墙体多处受损-1



图 11 爆炸（炸飞的砖头）导致（B 厂房外墙）墙体多处受损-2

④暂存区外墙墙体，在冲击波作用下，砖头散落到 C 厂房外墙处，导致雨棚损毁（图 12）；导致窗户损坏（图 13）；



图 12 暂存处墙体的砖头飞落至 C 厂房外墙处导致雨棚损毁



图 13 暂存处墙体的砖头飞落至 C 厂房外墙处导致窗户损坏

⑤粉尘收集间轻质屋顶（彩钢瓦）被炸飞（图 14、图 15）；



图 14 被炸飞的粉尘收集间轻质屋顶-1



图 15 被炸飞的粉尘收集间轻质屋顶-2

⑥事故车间区域的外墙墙体上，炸出一个大洞（图 16）；砖头散落到车间内和粉尘收集间内（图 17）；



图 16 事故车间区域的外墙被炸出一个大洞-1
(墙体向外开裂的情况)



图 17 事故车间区域的外墙被炸出一个大洞-2
(砖头散落及墙体向内开裂的情况)

⑦B 厂房临时建筑的外墙，在此次事故中也发生了爆炸，导致墙体坍塌，爆炸的砖头向墙体两侧散落，坍塌及散落情况，参见图 18；向内散落的砖头，导致 B 厂房窗户变形、玻璃损毁（图 19）；导致 B 厂房外墙多处受损（图 20）；

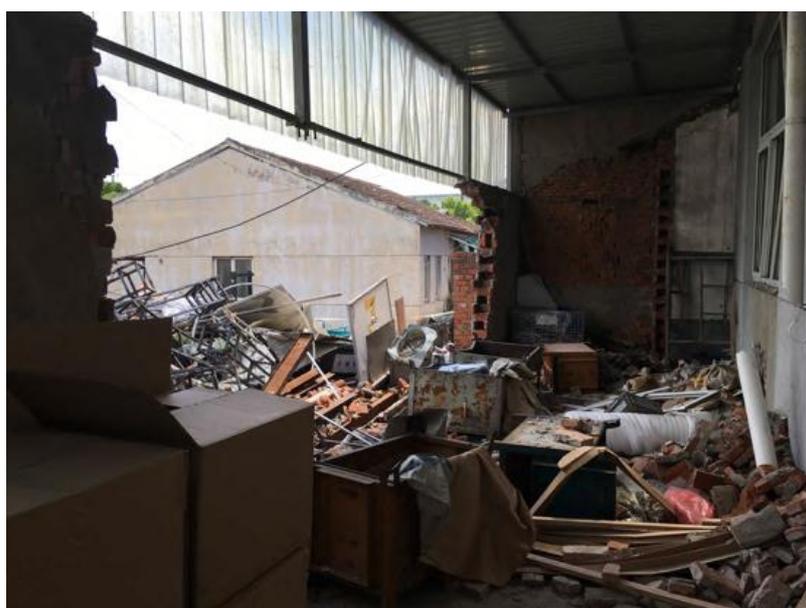


图 18 B 厂房临时建筑外墙被爆炸及砖头散落情况



图 19 B 厂房临时建筑外墙爆炸（冲击波/砖头）致使 B 厂房窗户受损变形的情况



图 20 B 厂房临时建筑外墙爆炸（砖头）致使 B 厂房墙体多处受损的情况

B、火灾痕迹的取证

事故现场发生过火灾的判断，既可以从受伤人员的伤害原因得到证实，可以从上述爆炸痕迹取证照片中，获得此次事故曾经发生过火灾的信息。此处，再列举三张取证照片，分别是事故单位暂存区过火照片（图 21）、事故车间过火照片（图 22）和 B 厂房临时建筑爆炸现场过火照片（图 23）。



图 21 事故单位暂存区过火取证照片



图 22 事故车间过火取证照片-1



图 22 事故车间过火取证照片-2



图 23 B 厂房爆炸现场（B 厂房临时建筑内）过火取证照片

(2) 爆炸部位的确定

根据现场勘查情况，此次事故中，发生爆炸的部位，主要有三处。

一处位于事故车间内，③号和④号两台打磨机中间的外墙处；第二处位于邻近事故车间的暂存处；第三处位于 B 厂房临时建筑外墙处。相关部位，参见图 24。

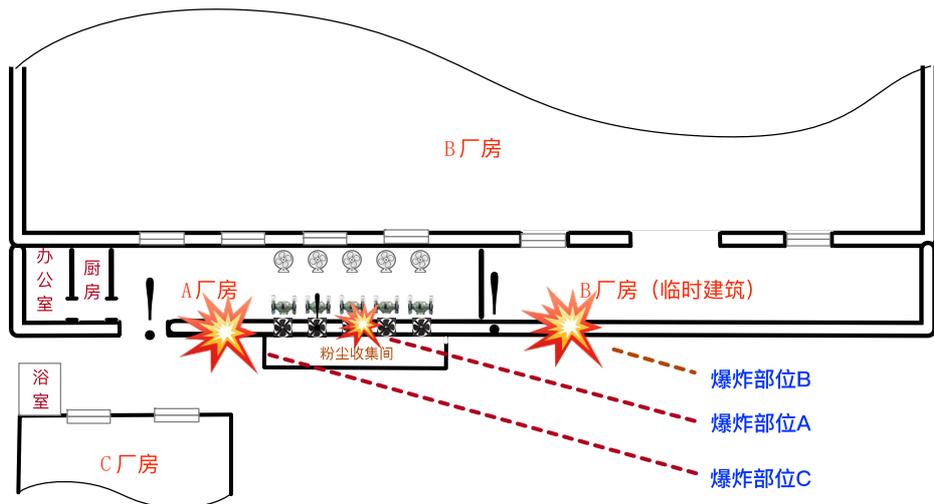


图 24 此次事故发生爆炸的部位

(3) 事故现场的重要特征与细节

根据现场勘查情况，此次事故存在如下几个重要的特征：

①事故现场肯定发生过火灾，但此次火灾的细节特征是：

A、虽然现场存在较多可燃物，但此次火灾的过火情况并不严重；

B、过火严重的部位，多发生在建筑物的高处。如烧焦的房梁、烧蚀的防水材料，烧损的 C 厂房雨棚等，这些都处于高处或位置较高的地方；

C、处于低位的可燃物，部分呈现过火痕迹，大部分则没有发生过过火，有些甚至保持得相当完整；发生过过火的可燃物，也只是呈现轻微过火的情况，参见图 25；

D、与爆炸部位邻近的可燃物，过火情况严重些，而与爆炸部位相隔较远的可燃物，波及较小或没有受到火灾波及。



图 25 事故现场低位可燃物过火情况

②因爆炸而倒塌的墙体，均为空心墙。空心墙的专业术语为
空斗墙，其结构参见图 26。

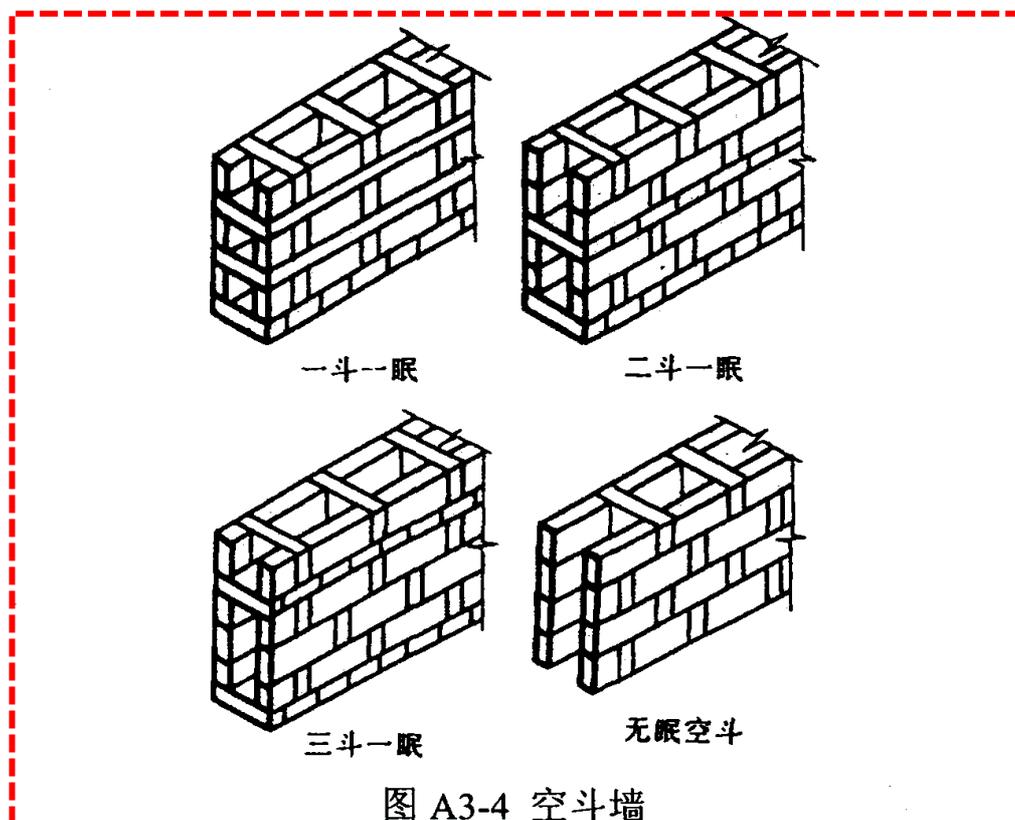


图 A3-4 空斗墙

图 26 空心墙的结构示意图

事故现场爆炸墙体的构造情况，参见图 27 和图 28。



图 27 爆照中倒塌墙体的结构——空心墙-1



图 28 爆照中倒塌墙体的结构——空心墙-2

③爆炸倒塌的墙体，爆炸出的砖头，向两边飞散。参见上文有关图片及描述。

④爆炸后残留的墙体，空心墙的双层砖，大多呈现开放式、喇叭口式的开口——即里外两层砖分别向外口突出。参见上文的图 16 和图 17，以及此处提供的三张图片，分别是爆炸部位 C、爆炸部位 A 和爆炸部位 B 处残留墙体，砖头开口的情况（图 29~图 31）



图 29 暂存区（爆炸部位 C）爆炸残留墙体砖头的开口情况



图 30 事故车间内（爆炸部位 A）爆炸残留墙体砖头的开口情况
（注：此图旨在显示外层砖向外突出的情况，结合图 16、图 17，可看出里层转
向里突出的情况）



图 31 B 厂房临时建筑（爆炸部位 B）爆炸残留墙体砖头的开口情况-1



图 32 B 厂房临时建筑（爆炸部位 B）爆炸残留墙体砖头的开口情况-2

⑤由爆炸后的残留墙体还可以看出，靠近墙体上层部位的砖头，大多呈现灼烧或过火的痕迹。参见图 29~图 31 以及此处的图 33。



图 33 爆炸残留墙体上部砖头呈现过火的情况

4、受伤员工访谈

此次调查工作中，调查人员对三名受伤较轻的员工，进行了询问和访谈。

访谈获得的重要信息如下：

- (1) 此次事故既有火灾，也有爆炸。
- (2) 爆炸发生前，曾经发生过一个小火灾。
- (3) 小火灾发生在③号与④号打磨机之间下端的排风扇位置（即爆炸部位 A 处），为除尘排风扇的电气火灾（可能的情形包括：短路形成的高温、电弧形成的高温、电气火花、电气表面的高温引燃其表面的可燃物等）。
- (4) 小火灾发生后，在场人员立即切断了电源，并立即用水进行了灭火。
- (5) 爆炸事故是在小火灾灭火后不久发生的。
- (6) 几名烧伤严重的人员，就是在此时受伤的。
- (7) 他们加工/打磨的工件是自行车把手等配件。
- (8) 工件处理中，有时会用到碱。采用碱液浸泡。
- (9) 受伤较轻人员，均是在看到火灾被控制后停下休息的；老板常江等受伤严重的人员，均是在处理残余火星时，突然发生爆炸，造成严重伤害的。

5、目击证人访谈

事故原因调查人员，还对 B 厂房内的工作人员进行了访谈。

访谈结果中的重要信息如下：

- (1) B 厂房临时建筑的外墙，是此次事故中倒塌的。
- (2) B 厂房外墙上的窗户，是此次事故中震碎的。
- (3) 听到了爆炸声。
- (4) 爆炸声，不是短促的“嘭”，而是有一定持续长度的“嘭——”。

五、事故原因的推断

依据调查与取证结果，针对此次事故的原因，报告作如下推断：

起先的电气火灾，造成了高温环境；用水灭火的作业，导致了高温热水的生成；高温热水与打磨作业产生的铝粉或铝合金粉末发生反应，产生氢气；氢气在空心墙内聚集、扩散，并在空心墙内（尤其是偏上部位）富集；氢气与空气在空心墙内形成可燃可爆气体，并在局部墙段靠上部位达到爆炸威力巨大的爆炸极限浓度（下称高浓区）；当靠近电气火灾引发点附近的空心墙体内部的可燃气体浓度达到可燃极限后（低浓区），被电气高温或现场余火引燃；火焰在空心墙内传播，当火焰传播至高浓区时，引发空心墙爆炸；由于空心墙内部结构的原因，氢气在符合条件的区域形成高浓区，因而导致了三处墙体的爆炸。

事故车间内的爆炸点，是第一爆炸点。爆炸形成的超压，致使空心墙墙体内部的燃爆混合气体喷出，其在室内或扩散范围内燃烧，导致人员严重烧伤。空心墙内引燃的火焰，迅速沿左右两个方向在墙

体内蔓延、扩散，直至在左右两个方向上引发墙体爆炸。由于三次连续爆炸的间隔时间很短，声波重叠，人耳无法听到清晰的三次爆炸声。

六、事故原因推断分析的过程

1、粉尘爆炸的排除

此次事故中，可燃性金属粉尘虽然是关键的肇事物之一，在爆炸引发的火灾环节中，金属粉尘也有可能参与了燃烧，但爆炸事故的形成，并不是由粉尘直接引起的，或者说，此次爆炸事故，不是一次金属粉尘爆炸事故。做出如此判断的依据，主要有以下几点：

（1）爆炸现场的墙壁、工件等的表面，未见有大量粉尘的附着。

（2）依据生产设施情况，粉尘收集间应该是粉尘数量最大的地方，如果发生粉尘爆炸，此处最容易形成或最容易受到波及。现场勘察结果表明，粉尘收集间保持基本完好。

粉尘收集间的轻质屋顶之所以会被掀掉，原因应该是事故车间墙体（爆炸部位 A）爆炸时所形成的冲击波导致的。

粉尘收集间靠暂存区一端的上部墙体的偏移变形，应该是由于暂存区墙体（爆炸部位 C）爆炸时，爆炸冲击波造成的。

（3）如果是事故单位内部或事故车间内部发生粉尘爆炸，则事故车间部位（高浓度粉尘区）应该最先发生爆炸，而这与现场的情况正好相反。

事故车间部位，除了外墙上的炸洞之外，屋顶、设备、工件等，几乎没有影响。导致彻底坍塌的，恰恰是不易形成粉尘聚集的暂存区。

(4) 如果是室内，或者是室外发生粉尘爆炸，则事故单位的外墙，应该向一侧倾倒。这显然是与现场情况不相符的。

(5) 现场勘察情况表明，此次事故中，B 厂房临时建筑的外墙（爆炸部位 B）也发生了爆炸。如果是粉尘爆炸，那么将无法解释此处爆炸的原因。

(6) 有没有可能在空心墙内发生了粉尘爆炸呢？这种可能性也必须予以排除。这是因为：

①粉尘是微细固体物质，不是单分子物质，不可能像气体物质那样具有良好扩散性，难以在空心墙内形成很大范围的扩散。

②空心墙不代表是完全中空的墙，其墙体内部，还有横向、纵向搭接的砖头，这些都会形成扩散阻力，属于气流不畅的空间。这便使得粉尘的扩散失去动力，即气流没有携尘的能力了。正好与粉尘不同，氢气是最轻的气体，其可依靠重度差或密度差（驱动力），扩散到任何可以扩散的、气体重度高于自身的地方。

③粉尘爆炸的先决条件之一是，粉尘必须要在空气中形成悬浮，并确保粉尘的浓度达到燃爆极限。从空心墙的结构可以想见，空心墙内部的气流应该是静止的（不排除破损处可能有缓慢的流动），在这样的空间内，粉尘很容易沉降，而不容易形成长时间的悬浮，更不可能形成高浓度（燃爆浓度）的悬浮。

④由于粉尘属于固体物质，与气体物质相区别，粉尘在空气中的连续性要差得多，其火焰的传播，主要通过飞溅传播，无法通过障碍物传播。空心墙的内部结构，不允许粉尘爆炸的传播。气体火焰则不同，只要缝隙超过最大试验安全间隙，火焰就可以传播。

2、爆炸部位的确定

爆炸部位的确定，是事故原因调查分析的关键性工作。依据现场勘察、人员访谈等情况，报告进行了下列分析与推断：

(1) 依据建构筑物受损情况，即：暂存区墙体倒塌、屋顶坍塌，事故车间邻近③号、④号打磨机之间的墙体炸洞，B 厂房临时建筑外墙倒塌等情况，以及依据冲击波损坏痕迹等情况判断，此次事故在三处不同的部位发生了爆炸。

(2) 依据损毁墙体，砖头散落或飞出的方向，即：三处爆炸部位的墙体，砖头均散落在墙体两侧，或沿两侧方向飞出的情况判断，爆炸过程发生在墙体的内部。

(3) 从残留墙体，靠上部砖块残留有灼烧或过火的痕迹判断，墙体内部曾发生过火焰传播的过程。

(4) 依据粉尘收集间靠暂存区墙体上部发生偏移变形的情况，以及残留墙体砖块过火部位靠上的情况判断，火焰传播和爆炸过程，主要发生在墙体内靠上的部位。

(5) 访谈获悉：此次事故发生前，曾发生过电气火灾；电气火灾是除尘排气扇的电气火灾；灭火人员在灭火时被严重烧伤；此

次爆炸事故，是在电气火灾得到基本控制，尚留少许火星的时候，突然发生的。据此判断，事故车间邻近③④号打磨机之间的炸洞，是第一爆炸点。

3、爆炸性物质的确定

爆炸性物质的确定，主要依据于以下信息或思维过程：

（1）事故现场符合可燃气体爆炸的特征，而不具有粉尘爆炸的特征，因而寻找爆炸性气体物质，便逻辑性地成为事故原因调查分析的方向。

（2）根据访谈及企业生产情况介绍信息，事故单位既涉及抛光打磨作业，也存在工件表面处理的作业，因此，可燃气体既有可能产生于（或引发于）打磨作业过程中，也有可能产生于表面处理作业过程中。假如表面处理药剂本身具有分解或燃爆危险性，或者药剂与工件发生反应，生成可燃可爆的气体物质等，都有可能引发爆炸事故，从而构成此次事故的爆炸性物质。

（3）依据爆炸现场墙体倒塌及砖头抛飞的方向等信息判断，此次事故不是墙体外（室内或室外）气体爆炸引起的，因而排除了工件表面处理作业引发火灾爆炸的可能性。

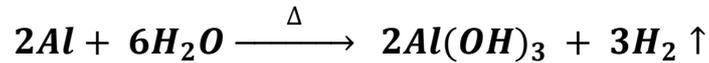
（4）依据此次事故是墙体内部发生爆炸、残留墙体呈现过火痕迹的砖块均处于靠上部位、事故现场低位可燃物过火情况轻微等信息判断，此次事故中涉及的气体具有重度轻、扩散性强、燃烧迅速的特质。

(5) 依据下列信息，最终判断，此次事故中的爆炸性物质为氢气。

①打磨工件为自行车配件，依据行业信息检索结果，该类工件主要为铝，或铝合金材质。

②此次事故发生前，曾经历了一次电气火灾，且电气火灾是用水做灭火剂进行灭火的，这就构成了形成高温热水的条件。

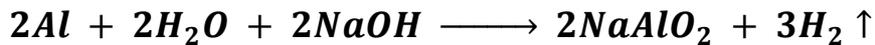
③依据化学反应原理，铝或铝合金在加热的条件下，可以与水发生反应并生成氢气。其化学反应方程式如下：



报告在此处补充一个信息：

依据受伤员工的介绍，事故单位在工件表面处理过程中，涉及碱的使用；工件多采用碱液浸泡的方式，进行表面处理。

在碱性条件下，铝或铝合金与水的反应，将会变得更容易。其化学反应方程式如下：



因此，电气火灾灭火过程中，如果使用了碱性水溶液，或者使用了粘有碱液的器皿盛水，则都有可能加剧氢气的产生。

④按照铝或铝合金与水反应的规律，在铝材比表面积较小时，如：铝块、铝片、铝条等，铝与水的反应相对缓慢，但在下述两种情形下，反应速度将加快：

A、呈微细分散状态的铝材，具有更大的比表面积，因而具有更高的化学反应活性。铝粉的粒径越小，其与水反应的活性越大。

B、高温可以促进氢氧化铝的溶解，因而水的温度越高，铝与水的反应活性越大。

4、爆炸性混合物构成条件的确定

就此次事故而言，爆炸性混合物就是可燃性气体与空气混合，且可燃物浓度达到爆炸极限浓度的混合物。

此次事故演变过程中，存在爆炸性混合物的构成条件：

(1) 空心墙体内，原本存在有空气。

(2) 电气火灾灭火过程产生的氢气，在重度差的推动下，在空心墙内集聚、扩散、富集。

(3) 在空心墙内，氢气与空气混合，并达到爆炸极限浓度。由于受到墙体内部结构的影响，空心墙内不同部位氢气的浓度不一定完全相同。

(4) 在空心墙内的局部位置，氢气浓度达到爆炸威力（如火焰传播速度、爆炸压力等）很大的浓度。由于氢气是最轻的气体，因而这些位置，大多处于墙体內的靠上部位。

5、引燃引爆（点火）条件的确定

依据调查取证信息，此次爆炸事故发生在电气火灾灭火作业行将结束之际，在火灾已得到控制及处置残余火星的时候，引发爆炸的。由此可以判断，此次事故的点火源为明火——火灾引发的明火。

这里，报告谨作如下补充性推断：

(1) 取证信息中所述的“火星”，应该是存在于现场的铝粉，即铝粉被引燃而形成的。

(2) 在熄灭火星的作业过程中，极有可能导致了铝粉粉尘的扬起（形成火星四溅的场景）。

(3) 高温或燃烧着的铝粉尘，飞散到墙体空腔内，与空腔内氢气爆炸性混合物接触，从而引发了此次爆炸事故。

6、火焰传播/爆炸传播过程的确

现场勘察情况表明，此次事故中，共有三处墙体发生了爆炸，从表面上看，这是一件令人费解的现象。要想理解这一现象，就必须首先了解火焰传播和燃烧、爆炸等相关的理论。

首先需要了解的是，燃烧和爆炸（爆炸性混合气体爆炸），在本质上是一致的，它们都是发光发热的剧烈的氧化还原反应，燃烧可以称为缓慢的爆炸，而爆炸则可以视作剧烈的燃烧。

爆炸极限也称为燃烧极限。图 34 是爆炸极限示意图。

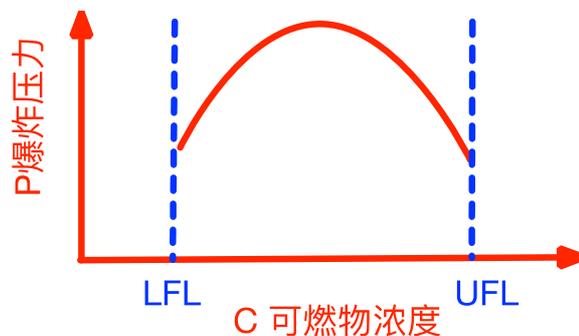


图 34 爆炸极限示意图

由图 34 可以看出，可燃物浓度过低或过高，爆炸压力都很小，只有浓度达到一定数值时，爆炸才会形成很大的压力。对于爆炸压力很小的情形，可以称为缓慢的爆炸，实际上，在低浓度区域，“爆炸”就是人们所熟知的“燃烧”。

依据上文的分析可以知道：空心墙内氢气浓度的分布并不是均一的，尽管氢气与空气组成的混合气体，均已经达到爆炸极限浓度，但不同部位氢气富集的情况是不一样的。

有的部位，爆炸性混合气体的浓度较低，而另一些部位，爆炸性混合气体的浓度则相对较高。在浓度较低的部位，火焰传播呈现“燃烧”的状态；在浓度较高的部位，火焰传播则呈现“爆炸”的状态。这就是某些墙体保持完好，而另一些墙体则发生了爆炸的根本原因。

七、结论

本报告在事故原因调查取证工作的基础上，对此次事故发生的原因（技术原因、直接原因），进行了推断，并对事故原因（推断结果）的推断过程进行了阐释与论证。报告谨给出如下结论：

- （1）此次事故是一起其他爆炸事故，燃爆性物质为氢气；
- （2）氢气与空气混合达到爆炸极限浓度，与点火源（点火源：燃烧的三要素之一，引发燃烧/爆炸反应的激发能源，如：明火、电气火花、静电火花、高温表面等）接触，引发了此次爆炸事故，爆炸类型为爆炸性混合气体爆炸；
- （3）除尘排风扇电气火灾灭火过程中生成的高温热水，与生产过程/打磨作业过程中产生的铝粉反应，生成燃爆性物质氢气；

(4) 事故单位的外墙采用空心墙体结构，致使电气火灾灭火过程中生成的氢气，在其间聚集、扩散、富集，达到燃爆浓度，并在局部墙体内部形成较高浓度区域（受限于墙体的内部结构，氢气在墙体内部的分布并不均一）；

(5) 电气火灾引燃现场存在的铝粉尘，形成残余火星；火星熄灭作业过程中，导致铝粉尘的卷扬；高温或燃烧着的铝粉尘，飞溅进入空心墙体内部，引燃墙体内部的氢气爆炸性混合物，并导致墙体内部局部高浓度区域的爆炸。

华东理工大学安全工程咨询中心

2018.8