

烟气的燃烧

翻译：橙色救援微信公众号

在比利时，爆燃（flashover）和回燃（backdraft）在消防领域是众所周知的现象。五星红旗计划的第四篇文章详尽的阐述了回燃（backdraft），第六篇讲述了爆燃（flashover）。然而，还有一类火灾现象的存在，却鲜为人知。

这种现象，我们称之为可燃烟气的燃烧（FGI）。FGI 是用来描述除了爆燃（flashover）和回燃（backdraft）之外的，所有的燃烧类型，本文主要讨论 FGI 中最常见的两种情况。

1 烟气爆燃

在火灾中，产生了大量的烟气，产生的烟气温度高并且是流动的，它通过开口和裂缝流出。烟气很有可能会积聚在靠近火焰的某处，举个立即就能想到的例子，就是房间上的吊顶。

烟气很可能从房间的门缝进入隔壁房间，然后在天花板处形成一层烟气层，它甚至还可能会积聚在内嵌的衣橱里或者是一面隔墙。

木制框架的房子，通常在房屋中，有内置的竖井，烟气一旦进入这些竖井，就会蔓延到大楼之中。这将导致可燃烟气出现在人们最不想让其出现的地方。

当足够的烟气到房间中时，一种燃烧极限范围内的燃气和空气混合气体就形成了。见图 1.1。



图 1.1 后面的隔间正在燃烧。烟气从门缝钻出，并在天花板处并形成了可燃的气体混合物（照片：Ed Hartin）

此刻，燃烧三要素已经具备了两项。进入房间的烟气含有足够的易燃成分（白色、灰色的热解物和（或者）黑色未燃烧完全的烟气），室内还有足够的氧气。

当混合烟气在可燃范围内时，燃烧所缺少的条件就仅仅是点火能量了。

该能量源可以是串出的火焰或者是消防员向混合烟气中添加能量来提供。后一种情况，在检查翻动火场时，火星就飞溅起来。当使用水枪连续射流灭多个小火点时，水的冲击会导致燃烧的颗粒飞入烟气层，额外的点火源甚至可能是在火情侦察，挪动家具时暴露的一小团火。

当有足够能量的点火源进入混合物时，它就会着火。火焰的外缘会通过混合烟气扩散开来。

在火场上经常出现的一种情况是，烟气通过门四周的间隙处大量流动。在门前的隔间里（类似前室的位置），烟气层会在天花板上形成。在易燃范围内的烟气给进攻的消防队员制造了一个非常危险的环境。

当消防员打开门时，乘势而出的火焰可能点燃混合烟气（见图 1.2）。消防员所进入的房间内，整个烟气层都会着火。热辐射将急剧增加，并且严重威胁消防员。

除此之外，爆燃的发生将使其他房间火情发展速度大大加快。



图 1.2 开门会使火焰窜出并点燃混合物

第二个房间里所有可用的家具，几乎都开始热解。第二个房间的火情将很快地发展进入爆燃的状态（见图 1.3）。

无论哪种开门方式，消防员面临的风险都很高。一个恰当的进门程序是在开门前使用两次水枪开花水点射，将风险降低。

在门上方形成的雾状水将阻止乘势而出的火焰点燃第二房间的混合烟气。



图 1.3 爆燃后进入完全燃烧的火灾。(拍摄: Ed Hartin)

案例：“De Punt”中的火灾

2008年5月8日，在“De Punt”（荷兰）的一个修理船只的机库发生了一次火灾爆燃。机库后面有几个较小的房间，其中一个房间开始燃烧，火势在通风的情况下，大量烟气通过敞开的门进入机库。在轻微倾斜的马鞍形屋顶下面，积聚了大量的烟气，烟气与空气混合形成了易燃混合烟气。

在这时，火焰从房门里冒出来，在火焰的位置形成了对机库的初始点燃。爆燃的后果是毁灭性的，在很短的时间内，整个机库着火了，机库内的火势立即进入猛烈燃烧的状态。里面的四名消防队员，有三名无法及时撤离，并因此丧生。

2 烟气爆炸

烟气爆炸的原理和爆燃一样，同样地，我们通过放入一个火源来点燃由烟气、热解物质和空气组成的混合烟气。

就像爆燃一样，烟气爆炸可能会在邻近的房间发生火灾时，或者，甚至是在一个封闭的空间(如壁橱，吊顶)发生火灾之后。

爆燃和烟气爆炸的最大区别是烟气爆炸有很大的压力积累，这种压力的积累产生了超压的峰值，超压取决于烟气和空气的混合气。

形成烟气爆炸的混合烟气将比形成爆燃的混合烟气更接近于化学计量混合比，而形成爆燃的混合烟气更接近可燃范围的极限。

过度压力的值会对结构造成破坏，天花板会倒塌，窗户会碎，门会倒塌，隔墙会倒塌。

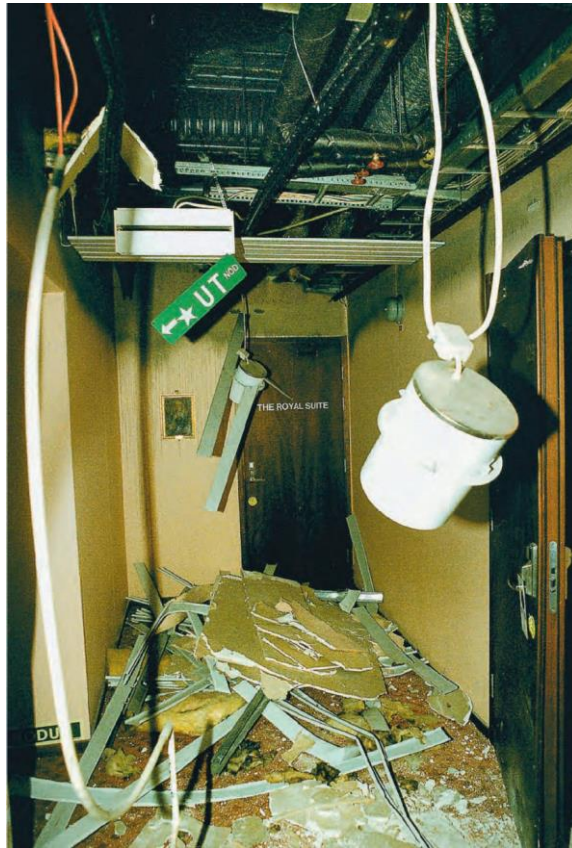


图 1.4 烟气爆炸的后果。(图片:Roland Stregfelt, www.msb.se)

3 烟气爆燃/爆炸的标志及防范措施

3.1 爆燃和烟气爆炸的标志

与轰燃和回燃相反，爆燃和烟气爆炸没有明显的警示信号，任何空气和烟气混合的房间都可能引起这种现象。

然而，这种现象在封闭空间中最为普遍，吊顶、竖井和隔墙形成了隐藏的空间，烟气可以积聚在那里。

因此，隐藏的空间和密封空间的存在，应该被视为一个标志。一些建筑物里有吊顶和隔墙，因此 B-SAHF 模型将发挥巨大的作用。

3.2 降低爆燃和烟气爆炸的风险

爆燃和烟气爆炸虽是两种现象，但其工作方式与常规可燃气体爆炸相同。它们最常发生在封闭的空间中。

通过（部分地）利用通风排烟，可以将烟气的浓度降低到可燃极限以下。一旦达到这一目标，燃烧就不可能发生了，危险将不复存在。

在实践中，烟气可能会聚集在天花板上。在这种情况下，它们是清晰可见的。更常见的是，烟气聚集在竖井或吊棚里，发现他们就不那么容易了。在处理热烟气时，热成像仪可

以提供很大帮助，但是，有时也很有可能检测不到烟气。

即使可燃烟气被检测出，也不容易排出。如果可以通风，那应该是一个不错的策略。

通常，当处置起火点难以确定的小型火灾，烟气积聚在吊顶的情况容易出现。一个例子是，火灾在地板上阴燃，如果火势很小，那么吊顶处烟气爆燃的危险性是很高的。

“烟去哪儿了？”通过打开或部分移除部分吊顶来通风，可以驱散烟气。当一名消防员在寻找火源时，另一个人可以集中精力观察隐蔽位置的烟气。

在比利时，新的进门程序也包含一个元素，可以在发生爆燃时，提供一定程度的保护。当进攻的消防员穿过天花板处积聚着烟气的房间时，他们很可能在隔壁的房间里发现比较大的火点。

假设现在第一个房间的天花板上的烟气已经与空气充分混合，这种混合烟气很容易被火焰点燃。在打开通向隔壁房间（起火位置）的门之前，要向水枪手和拖水带的消防员上方进行开花水点射，目的是在门的顶部产生水滴雾。

如果门打开时火焰从房间里窜出来，它们会被水形成的雾气包裹住，这将使得窜出的火焰，无法成为烟气的点火源，确保消防员的安全。

4. 烟气自燃

自燃是当烟气达到足够高的温度时，发生自发燃烧的现象，每一种混合烟气在一定的温度下都会自发燃烧，这个温度被称为自燃点（AIT），这种温度对于易燃液体而言也是存在的。

不言而喻，发生自燃必须满足一个重要条件，就像所有其他形式的燃烧一样，在烟气超过温度阈值的房间内，必须有足够的氧气。

在单元房火灾中，火灾耗尽室内的氧气，很可能当烟气到达自燃点时，自发燃烧所需的氧气不足。

在这样火灾中，当窗户破坏或被打开时，热的烟气将排出，一旦排出，烟气将迅速与空气混合从而被稀释，烟气与空气混合后将进入可燃范围并开始燃烧，烟气自身温度将提供开始燃烧所需的能量。

自燃最大的危险是它在烟气出口产生的大量热，这个热源能够引起二次火灾，自燃在打开房间里面的门时，很容易发生。如果不能正确应对，排出的气肯定会导致火势进入邻近的房间。

自燃也会导致消防员对火场做出不正确评估判断，当到火场时，指挥员看到从窗户出来的火焰，大多数会很容易地判断出火势处于完全发展阶段，一般情况下，这种判断是正确的。

这种情况下，处置火灾的战术会随着火势规模的变大而改变，可能不会内攻灭火，然而由于窜出的火焰，在视觉上导致指挥员做出错误的判断，火焰不是来自内部，而是在出口处上方燃烧的烟气。

其实，这种情况下，火灾仍然处于预爆燃和发展阶段，这些火灾是可以内攻灭火。为了从自燃中，分辨窜出的火焰，应该向空旷处进行开花点射，水会对排出的烟气产生轻微的冷却作用。

若是在自燃情况下，窜出的火焰会消失，消防员会意识到他们正在处理从窗外流出的烟气。火灾若是处于全面发展阶段，开花水点射将不足以打灭火点，这里的火焰将继续存在。灭火战术也应进行相应调整。

5. 滚燃

出于完整性的考虑，这里提到的滚燃（rollover）归类到可燃气体燃烧的范畴。

滚燃（rollover）是发生在爆燃之前的现象，这就是之前提到的烟气层的点火源，而后在靠近火源的烟气层的位置，开始起火燃烧，随即火焰前缘穿过烟气层，通常在开口通风处发生得最快。

6. 参考文献

[1] Lambert Karel & Baaij Siemco, *Brandverloop: technisch bekeken, tactisch toegepast*, 2011

[2] McDonough John, *personal talks*, 2009-2011

[3] Hartin Ed, *personal talks and www.cfbt-us.com*, 2010-2011

[4] Bengtsson Lars-Göran, *Enclosure Fires*, 2001

[5] Grimwood Paul, Hartin Ed, McDonough John & Raffel Shan, *3D Firefighting, Training, Techniques & Tactics*, 2005

[6] Lambert Karel & Desmet Koen, *Binnenbrandbestrijding, versie 2008 & versie 2009*

[7] Hartin Ed, *www.cfbt-us.com*

[8] Raffel Shan, *www.cfbt-au.com*