

# 烟气燃烧

作者：Karel Lambert

翻译：橙色救援微信公众号

在比利时消防领域，轰燃（flashover）和回燃（backdraft）是众所周知的现象。本系列的第四篇文章详尽地阐述了回燃（backdraft），第六篇讲述了轰燃（flashover）。然而，还存在鲜为人知的第三类火灾现象：被称为可燃烟气的燃烧（FGI）。FGI 是用来描述除了轰燃（flashover）和回燃（backdraft）之外的所有极端火灾现象，本文主要讨论烟气燃烧中最常见的几种现象。

## 1 闪燃

火灾会产生大量的烟气，其温度高且流动性强，散布在房内的犄角旮旯，烟气很有可能会积聚在靠近火点的位置，举个立即就能想到的例子：吊顶。

同样，烟气也有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。甚至还可能会积聚在内嵌式衣橱里或者隔墙内。

木制框架的房子通常有内置的竖井，烟气一旦进入这些竖井，就会蔓延到整个建筑，可燃烟气的位置将导致消防员们措手不及。

当房间中的烟气足够多时，就形成了燃烧极限范围内的可燃气体和空气的混合物。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：房内的烟气含有足够的可燃成分（灰白色的热解物和（或）黑色未充分燃烧的烟气），还有足够的氧气。

当混合物比例处于可燃范围内时，燃烧所缺少的条件就仅仅是引火源了。

引火源可能是串出的火焰或者是消防员的干预，后者可能是在清理余火时飞溅的火星（当使用直流水枪射击多个小火点时，冲击力导致燃烧的颗粒飞入烟气层）。甚至可能是在清理余火过程中挪动家具时暴露的一小团火。

当具备足够能量的引火源进入时，混合物就会着火，焰锋会蔓延至整体。

火场上经常出现的一种情况是，烟气通过门四周的空隙大量逸出。在门前的隔间里（类似前室的位置）的天花板上形成烟气层，如果其比例处在燃烧极限内，那么会给内攻人员带来极高的风险。

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

除此之外，闪燃的发生将大大加快隔壁房间火灾发展速度。



图 1.2 开门会使火焰窜出并点燃混合物

隔壁房间里所有家具几乎都会立即开始热解，火灾将很快地进入轰燃阶段（见图 1.3）。无论哪种情况，消防员开门后面临的风险都很高。正确的入门程序是在开门前使用水枪进行两次开花水点射，以降低风险。门上方形成的雾状水滴将阻止逸出的火焰点燃隔壁房间的混合烟气。



图 1.3 闪燃后进入全面燃烧阶段的火灾。(拍摄: Ed Hartin)

#### 案例：“De Punt”火灾

2008年5月8日，在“De Punt”（荷兰）的一个修理船只的棚屋发生了闪燃。该建筑后部有几个较小的房间，其中之一是起火点。由于火势为通风受限型，大量烟气通过敞开的门进入棚屋，在微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物。

当火焰从起火点房门逸出，点燃了棚屋内的混合气，闪燃的后果是毁灭性的：整个棚屋陷入火海，火势几乎立即进入全面燃烧阶段，里面的四名消防队员中有三名无法及时撤离，并因此牺牲。

## 2 烟气爆炸

烟气爆炸的原理和闪燃一样：通过火源的介入来点燃由烟气、热解物质和空气组成的混合物。与闪燃一样，烟气爆炸也可能会发生在邻近的房间起火时，或者发生在一个封闭的空间（如壁橱，吊顶）起火后。

闪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比，形成烟气爆炸的混合气体将比形成闪燃的混合气体更接近于化学计量混合比，而形成闪燃的混合气体更接近可燃范围的上、下限。

超压峰值会对建筑结构造成破坏：天花板掉落、窗户破碎、门震碎、隔墙倒塌等。

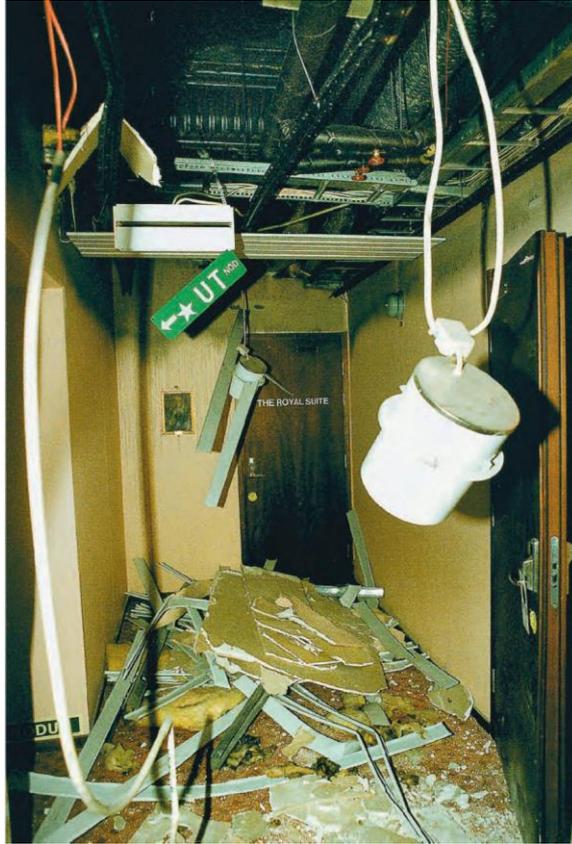


图 1.4 烟气爆炸的后果。(图片:Roland Stregfelt, [www.msb.se](http://www.msb.se))

### 3 发生标志及防范措施

#### 3.1 闪燃和烟气爆炸的标志

与轰燃和回燃相反，闪燃和烟气爆炸没有明显的预警信号，任何空气和烟气充分混合的房间都可能发生这种现象。

然而，这种现象最常见于封闭空间中。烟气积聚在吊顶、竖井和隔墙形成的隐藏的空间内。因此，隐藏和密闭空间的存在，应该被视为一个警示标志。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 降低闪燃和烟气爆炸的风险

闪燃和烟气爆炸是与常规气体爆炸原理相同的两种现象，最常发生在远离火点的封闭空间中。（部分地）利用通风排烟，可将混合物的浓度降低到可燃极限以下。达到这一目标后，就不可能发生燃烧，危险将不复存在。

实际火场中，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。而更常见的情况是烟气聚集在竖井或吊顶内，难以被发现。在处置热烟气时，热成像仪可以提供很大帮助，但有时也很有可能什么都看不到。

即使可燃烟气被发现，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（熄灭阶段）火灾，烟气积聚在吊顶的情况容易出现。例如，地板阴燃，如果火势很小，那么在进行全面侦察时应评估吊顶处烟气闪燃的危险性。“烟去哪儿了？”通过打开或部分移除吊顶来通风，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处理隐蔽位置的烟气。

在比利时，新的入门程序也包含一个步骤，可以在发生闪燃时提供一定程度的保护。当内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1号员和2号员头上进行开花水点射，目的是在门的顶部产生雾状水滴。如果门打开时火焰从房间里窜出来，它们会被形成的水雾包裹住，使得窜出的火焰无法成为烟气的点火源，这将确保消防员的安全。

## 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。在公寓房火灾中，火灾耗尽了室内的氧气，很可能当温度到达自燃点时所需的氧气不再充足。此类火灾有时在地面存在细微的气流，仅为燃烧供氧。而在房内顶端存在可自燃的极热烟气层，由于缺少氧气，该混合物比例超出了可燃极限上限。

在这种火灾中，当窗户破坏或被打开时，逸出的热烟气将迅速与空气混合从而被稀释，混合后将进入可燃范围并开始燃烧，烟气自身温度将提供点燃所需的能量。

自燃最大的危险是它在烟气出口产生的高温，这个热源足以引发二次火灾。在打开建筑内部的门时，自燃很容易发生。如果不能正确应对，逸出的烟气肯定会导致火势蔓延至邻近的房间。

自燃也会导致消防员对火场做出不正确评估判断。到达火场时，指挥员看到从窗户飘出的火焰，很自然得出火势处于完全发展阶段的结论。一般情况下，这种判断是正确的。根据侦察确定相应的战术，可能不会内攻灭火。

然而，“窜出”的火焰可能会导致错误的判断，因为火焰不是来自室内，而是烟气在出口处上方燃烧。

这种情况下，火场尚未发生轰燃并处于发展阶段，可以采取更激进的内攻灭火战术。为明确区分两种现象，应该向逸出处进行3D射水，水会对逸出的烟气产生轻微的冷却作用。若是在烟气自燃，窜出的火焰会消失，消防员会意识到他们面对的是烟气在出口处上方的燃烧。火灾若是处于全面发展阶段，3D射流不足以打灭火焰。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）归类到烟气燃烧的范畴。

滚燃（rollover）是发生在轰燃之前的现象：烟气层的燃烧。始于靠近火源的烟气层，随即焰锋穿过烟气层，通常在通风处发生得最快。

## 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*