

# 回燃

翻译：橙色救援微信公众号

在前期登出的文章中，我们对火灾特性进行了细致的研究。我们发现，如果空气不足，火灾的特性也将变得不一样。通风情况（如：打开的门、窗、排气口等）将决定火灾是否会发展成为通风控制型火灾。当通风情况发生变化时，将会出现一些极端火灾现象。

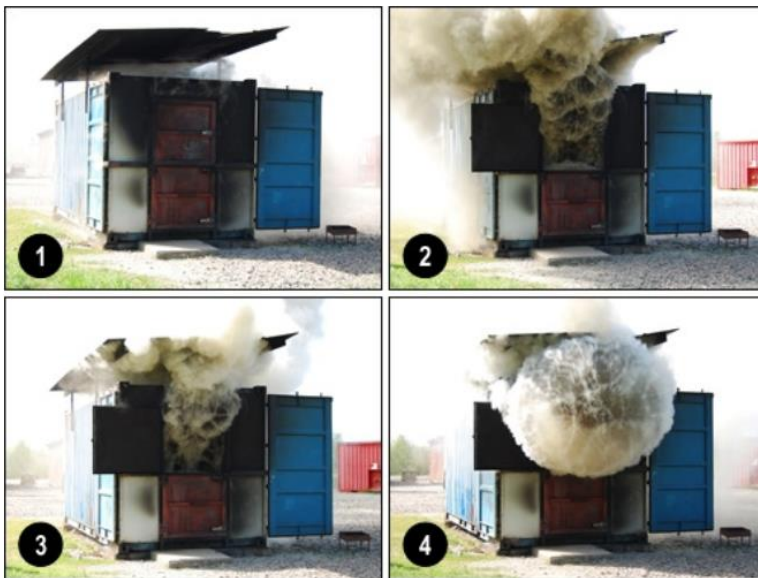
消防员打开一扇窗，或者，由于内外部温度的差异，窗户破裂，都可能会引发某种极端火灾现象。即使是为了内攻灭火，仅仅打开门，也会导致通风情况的改变。不幸的是，在通风控制型火灾中，改变通风情况经常会导致火场情况变得更糟。

我们首先来看看回燃。

## 12 回燃

### 12.1 场景描述

多年以来，回燃现象夺取了许多消防员的生命。在这些事故中，通风情况起着至关重要的作用。回燃发生的前提条件是一个封闭的房间着火，并且内部充满了大量火灾产生的烟气。



由于着火房间的特性（密封性，隔热性，...），逐渐发展成为通风控制型火灾。

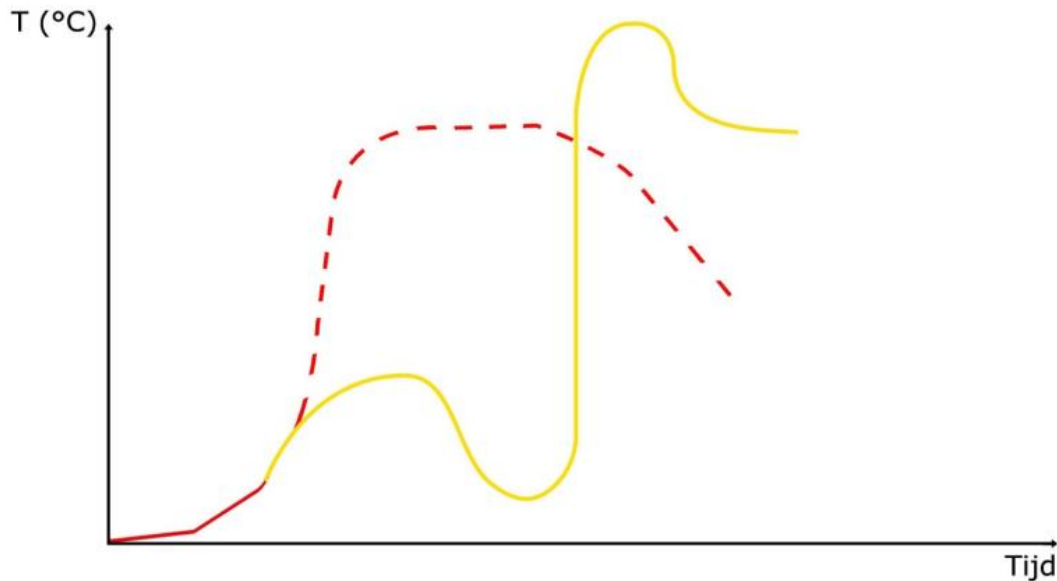
室内的烟气浓度达到了可燃浓度的上限。在这种情况下，如果通风情况不变，火灾将会自行熄灭。

但是在这种情形下，通风情况一旦改变，将会导致非常剧烈的现象发生。

大量新鲜空气将会卷入房间内部。空气的增加，导致热烟气与新鲜空气充分混合。随着空气的增加，内部的热烟气被稀释。混合后的气体将达到爆炸极限。

此时，可燃物（热烟气）与氧气（室外新鲜空气）发生了充分的混合。唯一缺少的就是足够的能量来引发回燃。混合物必须被引燃才能发生回燃。

90年代，Chitty研究了回燃的起因，发现回燃是由烟气中火星的复燃引起的。他的研究结果显示，初起火灾的火星是不足以引燃房间内的混合气体的。只有当火焰出现时，才能



有足够的能  
量来引发回  
燃。

图 12.2 回燃 (绘图: Karel Lambert)

量来引发回  
燃。

回燃发生的标志是火灾产生的烟气从窗口向外翻滚。这种现象被称为“菜花云”「气象学名词」。

引燃房间内部的烟气，火焰前端伴随着烟气从房间内部冲到房间外部。温度急剧上升并且伴有冲击波（见图 12.2）。回燃产生的最高温度比轰燃还要高。

## 12.2 回燃发生的标志

对指挥员而言，在火场上准确识别出回燃发生的标志非常有挑战。有一些参数可供评估回燃发生的风险。在侦查阶段，发现这些标志是指挥员的职责。发现回燃发生的标志可以拯救许多生命。

文献中描述最多的是熏黑的窗户，这是因为热烟气与冷窗接触造成的。在窗玻璃上，热烟气凝结了。这种原理类似于做饭时，水蒸气遇到厨房的冷玻璃时发生的冷凝现象。

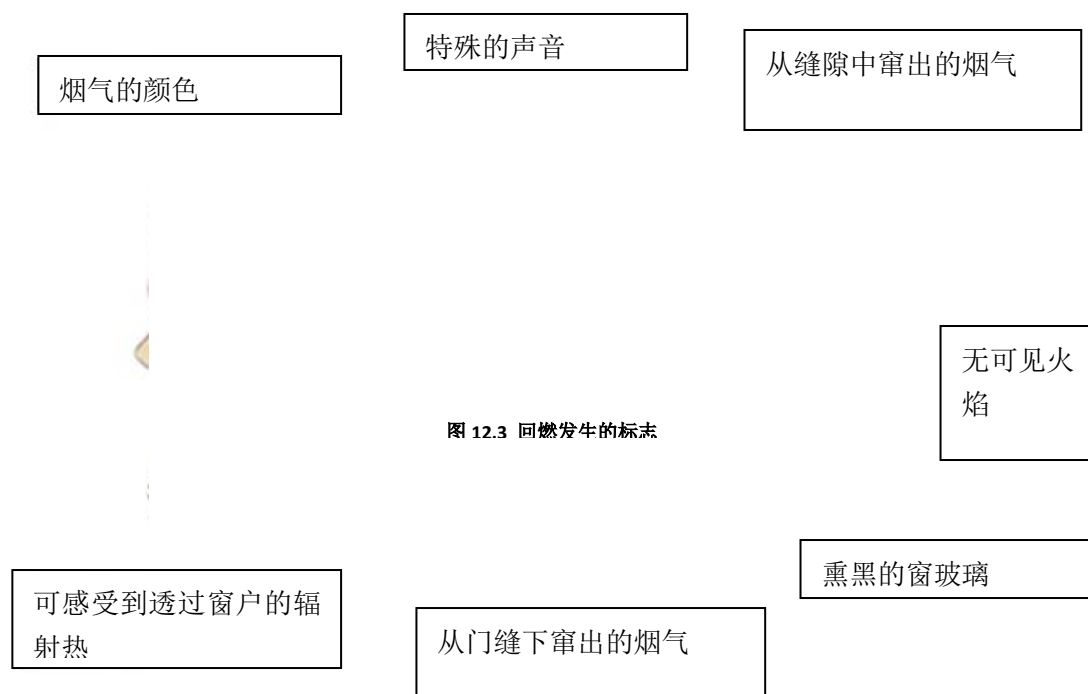
图 12.1 一个通风控制型火灾经过不同的步骤最终发生回燃现象。步骤 1: 房间是关闭状态。步骤 2&3: 门被打开了，室内外气体发生双向流动。步骤 4: 回燃发生。  
(摄影: Ed Hartin)

在实战中，我们可能还会看到其他颜色的情况：如棕色、棕黄色。窗户的隔热性越好，出现这种现象的情

况就越少。有案例中描述，回燃时，玻璃就像一个大的散热器。任何人站在窗户前都能感受到透过玻璃的热辐射。

烟气通过缝隙冒出，这是回燃发生的另一个标志。很明显，这种情况下，缝隙后的房间内存在严重的超压「压力大于室外」。这时，有必要在持续流出的烟气和间断流出的烟气之间做一个区分。如果烟气从门缝下窜出，那么说明整个房间都处于超压状态。

烟气的颜色从黑色到黄棕色都有。黑色烟气表明可燃气体浓度较高，而棕色气体表明烟气中的热解气体浓度更高。



火焰消失也被称为回燃的标志之一，然而，火焰消失应该以谨慎的方式来解释。这是因为，当某个房间没有火焰时，这是回燃的一个标志。但并不是说，相邻房间有火焰，回燃的危险就不存在了。

房间之间可能是完全分开的，假设 A 房间可能是将要发生回燃的状态，而在 B 房间，由于窗户是打开的，火势可能正在扩大。房间的分隔，导致了火场情况的不同。

还有一点值得注意的是，烟气从房间窜出时，引燃的过程是非常快的。这种情况下，火焰也是可见的，但你不能说，不存在回燃的风险。

### 12.3 如何阻止回燃的发生？

处置有回燃风险的火灾是一个难点，因为发生火灾的建筑情况不尽相同。以往的案例中，有几项战术的应用很有效，但难点在于，在正确的时机选择正确的战术。

直到现在，书本上还是介绍在遇到将要发生回燃火灾时，要进行通风。意思是：在房间尽可能高的位置开一个通风口「垂直排烟」。这样可以使热烟气散发出来。超压情况将得到改善，热烟气层上升，从而使得温度降低的空气存在于房间下部。

由于我们没有在低处开口，所以房间内很难进入新鲜空气。理论上，上部的通风口不会出现反向的气体流动，也就不会造成空气与热烟气的混合。通过排出热烟气，降低了回燃所需的气态可燃物浓度。

这一战术会导致气体在窜出建筑时被引燃，这种引燃可能导致在房间外部发生第二次火灾。因此，通风的原则是要提前在通风口处设置好水枪阵地。在这一阵地上的消防员要明白，在任何情况下都不要向内部射水。他们的任务是冷却从房间内窜出的高热烟气。



图 12.4 cobra 水枪在训练中的使用。烟气被完全的惰化和冷却。(摄影：Willem Nater)

运用这一战术的第二个问题是开设通风口。在高大、复杂的建筑高处开设一个通风口，通常是非常困难的。对于这些建筑，我们需要改变战术。

这里有一种替代战术，向着火房间内注射高压细水雾。有记录显示，在一个有回燃危险的着火建筑上可以开一个小孔。这个开口可以是打破的窗玻璃，或者是融化的排水管留下的孔隙。

这些微小孔隙，对于正在焖烧的火灾（氧气不足）不足以提供足够的新鲜空气。但是这些孔隙，却足够容纳一支穿刺水枪。

如果存在开小孔的情况，使用 3-D 脉冲技术来冷却内部热烟气就有可能阻止回燃的发生。使用 3-D 脉冲技术进行灭火，可能会产生双重效应：惰化内部气体，用水蒸气窒息灭火，从而控制火势。

在大多数火灾现场，我们并没有现成的孔洞用于架设一支穿刺水枪，你需要自行开设一个孔洞。对于一个封闭的房间而言，这不容易。

瑞典发明了一种特殊装备，解决了这一问题：Cobra 冷切割水枪。这种 Cobra 水枪是一种高压运行的设备。为这个特殊穿刺水枪供水的泵，压力高达 30mpa。泵内的水中加入了细小的金属颗粒。

在高压水和金属颗粒的联合作用下，使得水流具有很强的切割能力。这种水流可以穿透防盗门、混凝土墙壁以及钢梁。一旦高压水和金属颗粒的混合物穿透了建筑构件，水流中就不再喷射金属颗粒。

水不会停止供应，并且会间接灭火。由于单支 Cobra 水枪的流量限制（60L/min），它的灭火能力也是有限的。

在瑞典，曾有同时在一个火场架设 6 支 Cobra 水枪灭火的案例。大部分情况下，它是与许多 PPV 风扇配合使用，确保相邻房间处于超压状态。这样做，既避免了烟气的泄漏，同样也防止了火灾的传播。

最后一个用来防止回燃的方法：改良进门程序。常规的进门程序是，把门打开约 20cm。然后通过门向房间内用水枪作 3 次点射。

在将要发生回燃的情况下，我们通常要把门开的更大一些，以便使用 400-500L/min 的大流量水枪。水枪开花角度设定为 30°，进行环形扫射，做完之后将门关闭。

这种方法，门只开了一小会。当然空气仍会进入，但是相比于使用直流水，使用开花水可以使得空气不会被卷入到房间较深处，并且造成的扰动也较小，发生回燃的概率也会小得多。

除了空气之外，还有几公升的水会被射到房间当中，这么多的水将能保证将烟气冷却下来。同时，较高的流速还可为内攻消防员提供必要的保护。

如果在第一次循环之后，没有发生回燃，可以继续重复以上循环，直至危险被彻底消除。