

极端火灾现象：总结

作者：Karel Lambert

翻译：橙色救援微信公众号

1 介绍

本系列的前几篇文章讨论了三类火灾现象，并对每种现象的作用机理进行了阐释。为了更好地理解极端火灾现象，我们将从不同的视角来看待各类现象。从实际角度出发，对于消防员来说，知道自己身处危险中比确切知道哪种危险更重要。举个例子可以帮助理清问题：对于消防员来说，能够辨识轰燃发生的条件，比意识到自己正处于轰燃的房间中更重要。

图 1 展示了大部分极端火灾现象所处的位置，该图阐明了特定现象发生之前所需的条件。消防员能够评估他们当前救援环境中可能发生的现象是非常重要的。这张图是不同形式极端火灾现象的一个概览。

每种现象在真正发生之前都需要深度酝酿。图表显示的毕竟是现象发生之前的情况，这意味着火灾三角形至少缺失一边。我们要能识别某种现象可能发生的条件：每名消防员都应该熟知轰燃和回燃的一系列警示信号。然而，火灾烟气燃烧（FGI）何时发生很难预料。

具备良好观察力（和良好沟通能力）的消防员可在某种现象发生之前识别出发生条件。根据观察到的这些条件，可以采取一些措施防止火势恶化。如果无法实施，可以选择撤离，以距离换安全。

图表是一个模型，一种模拟现实的手段。美国的大队长埃德·哈廷在讨论模型时经常发表以下言论：“所有模型都是错误的，但有些是有用的”。这句话当然也适用于图 1，该图说明了可能发生的不同火灾现象的条件。模型只是近似于现实，当然不可能是完美的。这个模型经过多年的改进，还可以进一步完善。欢迎大家提出建议。

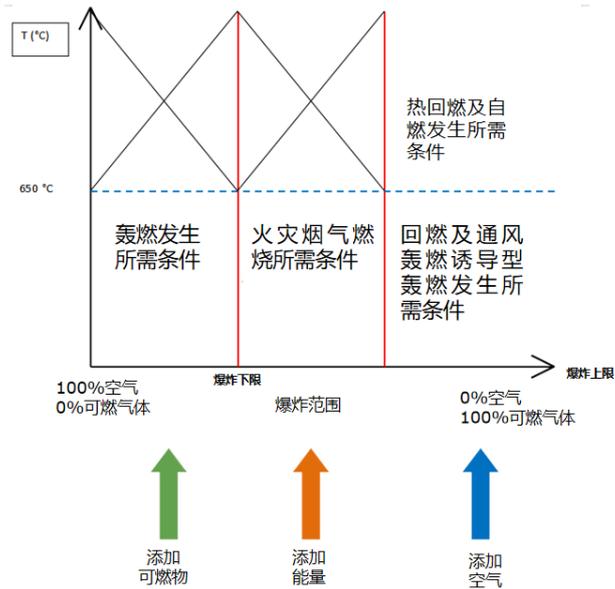


图 1 极端火灾现象进展概述（图表：Karel Lambert）

2 不同火灾现象的回顾

2.1 轰燃

轰燃是一种极端火灾现象，标志着火灾从燃料控制型转变为通风控制型。轰燃发生前，房间内必须积累足够的热量，这过程需要能量，能量通过燃烧过程释放出来。在火灾的发展阶段，受火源影响的可燃物数量和表面积不断增加。火灾的热释放速率也会随着火势的增长而上升，这意味着会释放出更多的能量，在某个时间点将达到临界值，释放出的能量导致房间内发生轰燃。

在轰燃发生之前，室内温度仅在有限范围内上升，参与燃烧的可燃物数量也是有限的，火势仍局限在火源周围。

随着火势发展，因燃烧荷载不断增多，火场释放的能量也随之增加。烟气层变厚，向地面沉降，包含的可燃气体越来越多。在图上表示为向右侧移动，达到临界值后，烟气层会被点燃，这就是“滚燃”。这将导致烟气层中的热量大幅增加，并朝下方的物体辐射，导致火势的发展愈发迅速，只需要几秒钟，整个房间就会陷入火海并发生轰燃。图 2 中，绿色箭头表示火势在轰燃过程中的发展情况。

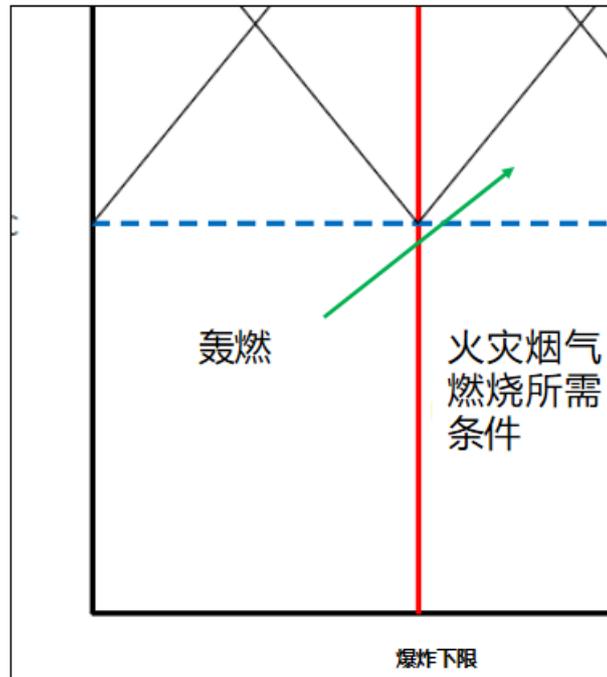


图 2 绿色箭头表示轰燃

2.2 回燃与通风诱导型轰燃。

回燃是一种非常罕见但却十分猛烈的现象。正因如此，可以说是臭名远扬，几乎每名消防员都对此有话要说。

回燃的发生需要满足封闭空间的条件，火势的发展需要燃料和氧气。在某一时刻，燃烧的火势因缺氧而停止发展，这称为通风受限火灾。由于封闭空间内温度已经很高，受热物体将继续热解，火焰逐渐熄灭，有焰燃烧停止并转变为阴燃，同时不断产生大量烟气和热解气体。房间内的气体含量比将从图中最左边过渡到最右边。可燃烟气的浓度上升，从而与空气形成燃料占比过高的混合气体，超过了气体燃烧上限（UFL）。

当消防员打开房门或窗户破裂时，氧气就会重新流入室内。燃料丰富的混合气将被稀释，当着火部位开始重新燃烧后，如果混合气体浓度在爆炸极限（LFL 和 UFL）内，火焰就会点燃混合物，回燃将发生，产生的压力波会把房间内烟气从开口处向外推，压力波后紧接着火焰，结果就是典型而壮观的大火球。

回燃一直是一种罕见的现象，必须要满足许多条件才能发生。另一个鲜为人知的现象是通风诱导型轰燃，它的前置条件与回燃相似。通风受限火灾的发展受火场内氧气和可燃气体含量所控制。

同样，当消防员开门时，流入新鲜空气，火势复燃。鉴于房间内的许多物体已经被加热，火势会迅速发展，在浓烟散去前就会发生轰燃。这种轰燃是由通风状况的变化引起的，图 3 上的绿色箭头演示了这个过程。

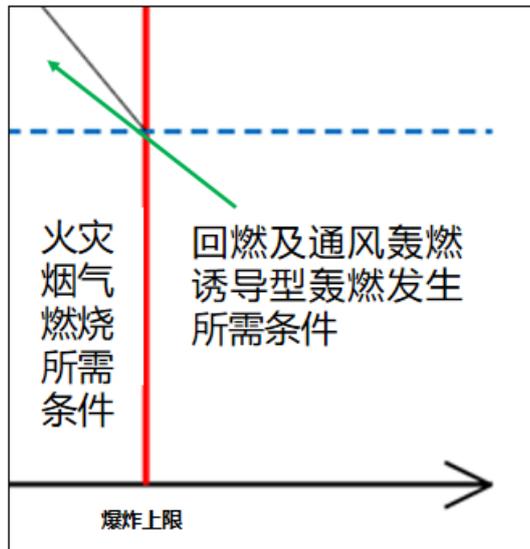


图 3 回燃和通风引发诱导型轰燃的发生

由于现在的建筑方式与几十年前不同，通风受限火灾越来越多。甚至看起来今后此类火灾将比通风火灾还多。这意味着通风诱导型轰燃的风险将会增加，尽管回燃现象更为人所知，但消防员需要更加小心通风诱导型轰燃。

2.3 闪燃与烟气爆炸

除了轰燃与回燃类，还有第三类现象：烟气燃烧（FGI）。这些现象的发生方式与房间内煤气泄漏引起的爆炸相同，要满足以下条件：房间内可燃气体的浓度要高于爆炸下限（LFL）。在火场，这些气体通过燃烧（烟气）或热解（热解产物）产生。

火灾期间，封闭房间内会产生大量烟气，形成高压环境。正压将烟气从裂缝和缝隙中排出，烟气可能会排到室外，但也有可能进入邻近的空间或空隙中（假天花板、高架地板或干墙）。烟气浓度不能超过爆炸上限（UFL），否则无法点燃。

在这种情况下，室内就有了可以被点燃的氧气与可燃气体的混合物，如果加入点火源，将会燃烧，如图 4 中绿色箭头所示。

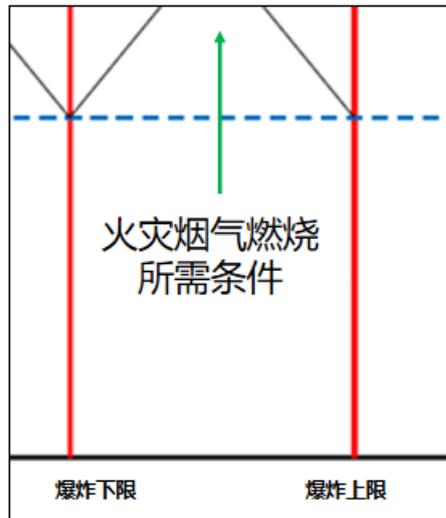


图 4 烟气燃烧 (FGI) 的发生

烟气的浓度决定了发生哪种现象（闪燃或烟气爆炸）。在爆炸浓度中间某处的化学计量比，是燃料和氧气的理想配比，一旦点燃这种处于爆炸浓度中理想配比的混合气体将发生烟气爆炸。接近爆炸浓度的是不太理想的混合气体，但它们仍可被点燃，点燃这些混合气体会发生快速的燃烧，但房间内集聚的压力有限，这种现象称为闪燃。

2.4 自燃

自燃现象通常不为人所知。大多数情况下，它对消防员没有威胁，但可能导致火势蔓延。除此之外，自燃还意味着房间内温度非常高。

自然的条件之一是房间内有充足的高温可燃烟气（超过 650°C ）。 650°C 仅仅是一个粗略的估计，也可能是 600°C 或 700°C 。一些文章提到，当烟气的主要成分是热解气体时，在更低温度下也可能发生自然。

需要满足的最后一个条件是烟气浓度必须非常高，超过爆炸上限（UFL）。否则，烟气会在房内而不是房外燃烧。

封闭的房间一旦出现开口，热烟气将会从房中逸出，与新鲜空气混合，浓度被稀释。该过程在图 5 中由绿色箭头表示，一旦烟气和空气形成可燃混合物，就会发生燃烧，点火源就是烟气的温度

。

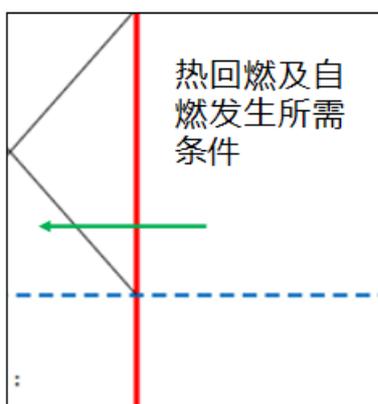


图 5 自燃和热回燃现象

2.5 热回燃

瓦隆尼亚 (Wallonia) 消防队接到了一起冷冻食品店火灾的报警。消防队到场时看到火焰从商店的屋顶冒出 (见图 6)。此时的商店已经关门, 消防员不得不破拆进入, 以便开始灭火行动。由于火焰的存在, 没有人想到会发生回燃。发生回燃的这些征兆中, 无火焰通常被认为是主要特征之一。

玻璃被破拆后, 大量空气迅速流入建筑内部, 不久就发生了剧烈的回燃。幸运的是没有人受伤。事后, 消防员对回燃现象的发生感到十分惊讶。毕竟, 火焰清晰可见。这里需要做出一个重要的说明: 建筑内没有看到明火。消防员到场时看到的火焰可能 (部分) 是由于逸出的烟气自燃形成的。



图 6 这张照片从左到右显示的三种颜色: 热解气、烟气和火焰。火焰清晰明亮, 表明烟气自燃。(照片: Benoit Amans)



图 7 消防员在窗户上破拆出入口后, 发生了一次非常剧烈的回燃。(照片: Benoit Amans)

一种罕见的情况是封闭的房间内积累了大量的高温烟气, 突然涌入大量空气。在一般的回燃现象中, 新鲜空气和烟气 (燃料) 是先混合后被复燃的火焰点燃, 复燃取决于氧气的供应。因此, 在一般的回燃现象中, 有两个条件取决于现场的通风情况: 形成可燃混合物, 并且火焰需要获得足够的氧气复燃。

然而, 当烟气温度非常高且超过自燃温度时, 烟气本身就是点火源, 不需要额外的能量。在这种情况下, 可能会发生“热回燃”。这种现象非常罕见, 即使在火灾特性专家中也没有普遍的共识。

2.6 图表回顾

仔细观察图 1，我们可以看到导致极端火灾现象有三种不同的机制。

- 增加可燃物（绿箭头）
- 增加能量（橙色箭头）
- 增加空气（蓝色箭头）

众所周知，建筑师越来越注重住房的密封性，导致火灾的通风情况也愈发受限。因此，加入空气使火势恶化的情况也会越来越多。当然，这并不意味着其他情况不再发生，指挥员的职责是在灭火行动中考虑到火场的环境条件和烟火特性，并通过识别和预估烟火特性来避免事故。

3 参考书目

- [1] *McDonough John, personal talks, 2009-2012*
- [2] *Hartin Ed, personal talks, 2010-2012*
- [3] *Lambert Karel & Baaij Siemco, Brandverloop: technisch bekeken, tactisch toegepast, 2011*
- [4] *Kerber Steve, Impact of ventilation on fire behavior in legacy and contemporary residential construction, 2011*
- [5] *Grimwood Paul, personal talks, 2008*
- [6] *Lambert Karel & Desmet Koen, Binnenbrandbestrijding, versie 2008 & versie 2009*
- [7] *Grimwood Paul, Hartin Ed, McDonough John & Raffel Shan, 3D Firefighting, Training, Techniques & Tactics, 2005*
- [8] *Bengtsson Lars-Göran, Enclosure Fires, 2001*
- [9] *Hartin Ed, www.cfbt-us.com*
- [10] *Raffel Shan, www.cfbt-au.com*