

最常见的极端火灾现象：轰燃

作者：Karel Lambert

翻译：橙色救援微信公众号

在之前的文章中我们讨论了通风良好和通风受限两种情况下的火灾特性，我们发现只要有足够的可燃物和氧气，室内火灾就会逐渐发展成整个房间陷入火海的状态，这种转变称为轰燃。近年来，轰燃已经导致了几十名消防员牺牲，这些因公殉职（LODD）的事故现场发生的情况都非常相似，即消防员到达现场时，火灾一般处于发展阶段，消防员开始进入建筑物内进行搜救或灭火，在寻找受害者和/或火点的过程中，很少注意到火势发展所带来的风险越来越大，在这种情况下一旦发生轰燃，消防员往往会因为措手不及在火场中受重伤甚至牺牲。

轰燃是指火灾从发展阶段转变为猛烈燃烧阶段的迅速且持续的变化过程

1. 不同类型的轰燃

1.1 普通轰燃

在通风良好的条件下，轰燃是火灾发展过程中一个阶段（见图 1.1），它标志着火灾从发展阶段向猛烈燃烧阶段的过渡。在火灾发展阶段，天花板下方会形成一层热烟气，即烟气层，其会将热量传递给所有与之接触的物体，如橱柜、可燃墙衬等，这就是所谓的热对流；除此之外，烟气还会将热量向下辐射到下方的物体上，如椅子、桌子等，这称为热辐射。这两种热传递过程都会导致室内所有物体升温，在某一时刻，室内温度将达到热解阈值（物体的温度过高，开始受热分解）。轰燃之前会发生滚燃——火焰在整个烟气层中翻滚前进，这将导致烟气温度大幅上升，进而增加对下方物体的热辐射，如果此时屋内物体的热分解尚未开始，现在很快就会开始，随后新形成的热解产物将会迅速被点燃，整个房间将被火焰吞噬。

轰燃时，室内温度会急剧上升，在短短几秒钟内，温度就会升至 600° C，辐射热通量也会增加，室内生存已变得不可能，消防员如果发现自己身处发生轰燃的房间，只有几秒钟的时间可以逃生，就算成功，往往也会遭受严重的烧伤。因此，必须在发生轰燃之前撤离房间。

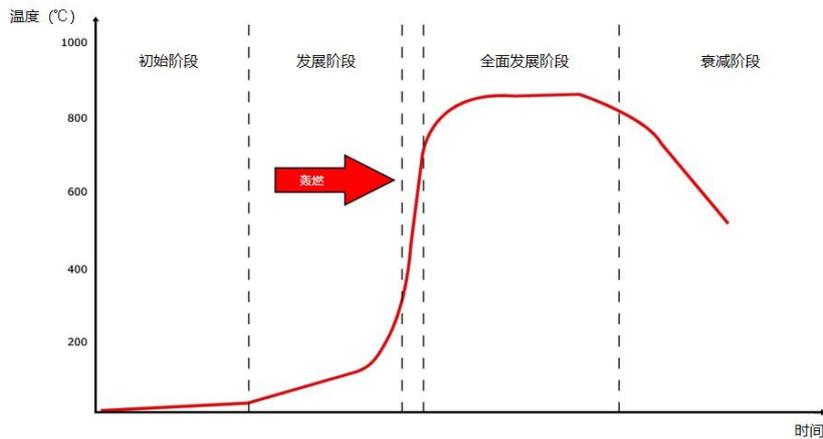


图 1.1 通风良好的火灾发展 (制图: Karel Lambert)

1.2 通风诱导型轰燃

通风诱导轰燃只有在火场通风不足且在燃料控制/通风控制点已积聚了足够热量的情况下才会发生。意思是在火灾发展初期，缺氧抑制了火灾的发展，如果火场的通风状况没有发生变化，火将自行熄灭，图 1.2 中的黄线描述了这一现象。起初黄线上升速度较慢，随后开始下降。在通风受限时，许多参数将决定房间内热量的积累量，在热量足够的情况下，房间内的许多物体会继续热解。房间内将再次出现大量气态燃料，显然在隔热性能良好的现代住宅中，这将是一个经常出现的问题。

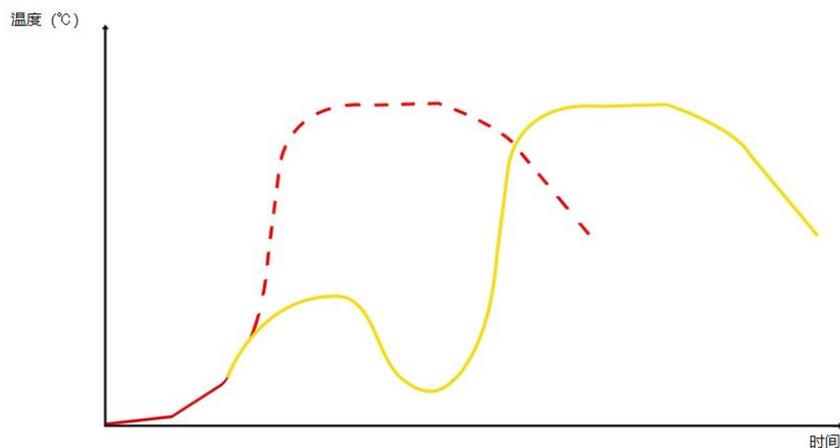


图 1.2 通风诱导型轰燃 (制图: Karel Lambert)

这给消防员带来了极大的风险，只要打开门，就会产生一个通风口，进入房间就是给火场进行通风！因此消防员进入室内必然会改变通风状况，额外的通风反过来又会使火势增长，

heeft opmaak toegepast: Lettertype: +Hoofdttekst Aziatisch (SimSun), 10,5 pt

如图 1.2 向上倾斜的黄线所示。房间内的温度会升高，烟气会被点燃，几秒钟后火势就会达到猛烈燃烧的状态，这种现象与常见的轰燃相似。

通风量的增加将决定通风诱导型轰燃发生的速度，当门被打开时，空气会进入房间。假设在门口放置一台正压送风机，通风诱导型轰燃将会更快发生。

描述这种现象的其他术语还有“延迟轰燃”和“热失控”。但在国际上，人们更倾向于使用“通风诱导型轰燃”这一术语。

1.3 两种轰燃的比较

接下来，我们将比较这两种轰燃现象并研究分析它们的异同。两种轰燃的主要区别在于现象发生的源头，普通轰燃发生在通风良好火灾发展过程中，而通风诱导型轰燃发生在通风受限火灾发展过程中，图 1.3 是（气态）燃料百分比与温度的关系图。

图中左侧显示的是火灾初起阶段，此时火势受燃料控制并限制在一定的面积内，参与燃烧的材料将决定火灾是否发展为轰燃。热释放率（材料燃烧释放热量的速度）和火焰蔓延（火焰在燃料表面传播的速度和范围）等参数将决定火灾的发展进程。如果热释放率和火焰蔓延足够，火势就会越来越大，室内温度也会随之升高，要做到这一点必须有足够的可燃物。热量在房间内大量积聚，当释放的能量足够时，就会发生轰燃，某些文献中的术语称之为“热量诱导型轰燃”或“辐射诱导型轰燃”。

图中右侧显示的是通风受限火灾，在这种情况下，火灾已经燃烧了一段时间，火场中可燃物充足，但缺少氧气，如果不通风，火就会自行熄灭。如果现场进行通风，火灾将再次加速发展，室内温度会再次升高。与普通的轰燃现象相同，房间内的热量会积聚，与之前一样必须积累足够的热量才会发生轰燃。但热量积聚的起因是通风状况的变化，因此，这种现象被定义为“通风诱导型轰燃”。

总之，普通轰燃源于燃料控制，而通风诱导型轰燃源于通风不足。

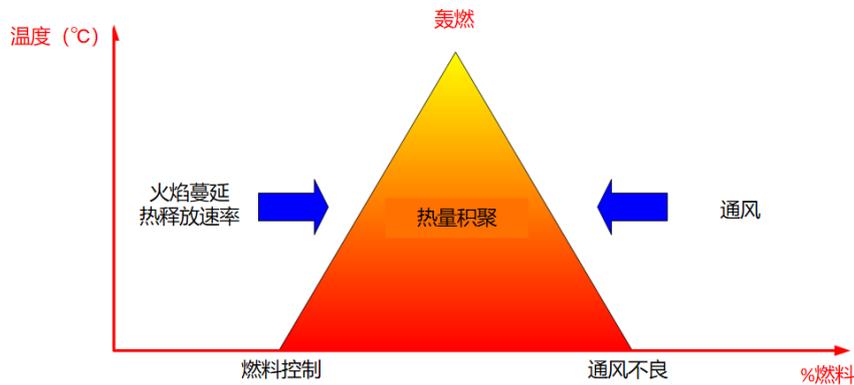


图 1.3 两种类型的轰燃 (制图: Karel Lambert)

2. 安全策略

过去, 消防员往往对突然增大的火势措手不及, 一旦发生轰燃, 消防员几乎没有生还机会。一些国家在发生消防员伤亡的严重事故后会进行彻底调查, 以便从中吸取教训, 并在今后采取更安全的干预措施。研究表明, 当房间内发生轰燃时, 如果消防员距离房间出口超过 1.5 米, 他/她就没有生还的机会。也就是说, 发生轰燃时, 一个人在死亡前最多只能移动 1.5 米的距离——横跨人间与地狱, 房内温度接近或超过 600°C , 能见度几乎为零。由此我们可以得出结论: 能采取的安全措施是有限的。

2.1 不要在那里

最重要的策略是: “不要在那里”。在即将发生轰燃时, 已经离开建筑物的消防员不会因为发生轰燃而牺牲, 这一策略强调了正确评估火灾的重要性, 由于火灾是动态的, 可以从各种征兆推断出是否即将发生轰燃。指挥员应能够识别这些迹象, 并在必要时下令让人员撤离, 显然, 目前在这方面的培训严重不足。

2.1.1 轰燃的征兆

对于消防员来说, 正确判断火情并评估是否可能发生轰燃至关重要。由 Shan Raffel 设计、Ed Hartin 进一步开发的 B-SAHF 模型可以成为这项工作的有效工具, 有许多迹象表明轰燃即将发生, 消防员需要马上撤离:

- 烟气层快速下降或已经非常接近地面
- 烟气层为深黑色, 或从白灰色变成深黑色。
- 烟气层流动非常汹涌或正在变得非常汹涌。
- 烟雾层的温度越来越高, 令人难以忍受。

- 在此之前看似位受火灾影响的物体突然开始热解，产生大量热解产物。

2.2 预防轰燃

轰燃的原因众所周知，普通轰燃和通风诱导型轰燃都是在烟气层中积聚热量，普通轰燃是通过增加的可燃物积聚热量的，通风诱导型轰燃则是通过增加供氧来积聚热量的。

2.2.1 烟气冷却（气体冷却）

对处于发展阶段的火灾来说，最有效的战术是气体冷却，这可以通过 3D 灭火技术来实现，该技术的目标是冷却和惰化烟气层。为了实现这些目标，水枪的喷射角度应设置为 60° 左右，然后向烟气层进行短脉冲射水，这样可以使大量水滴进入烟气层，这些水滴的蒸发将会从烟气中吸收热量，从而使烟气温度下降。当大量射流进入烟气层时，就能将烟气的温度保持在足够低的水平，从而防止轰燃的发生。这项技术的另一个优点是将水蒸汽混入烟气层，水蒸汽是一种不燃气体，烟气中的蒸汽会阻碍滚燃的发生。使烟气层不可燃称为惰化。

2.2.2 反通风

在通风诱导型轰燃的情况下，反通风是一种解决方案。反通风是指设法封闭和关闭着火房间，火最终会因通风不足而缺氧熄灭。然而实际火场中这种手段并不常用，因为房间里的窗户可能会因为内外温差而破裂。美国和加拿大曾进行过相关实验，以确定限制通风的可能性和风的作用，研究表明在风速较高的情况下，可以选择使用风力控制装置（WCD），简单地说，就是在窗前挂一种阻燃帆布进行挡风。

3. 案例：星尘夜总会火灾

1981 年 1 月 14 日，都柏林市的星尘夜总会发生火灾。火灾发生时，夜总会内共有 841 人，起火点位于大厅的一处封闭区域，火灾很快就发展成了轰燃，此后火灾快速蔓延到了夜总会的其它地方。当晚有 48 人死亡，214 人受伤。轰燃是造成重大伤亡的重要原因，除此之外，该夜总会防火措施也不到位，墙壁衬里和长凳非常易燃，建筑内几乎没有灭火器，几个紧急出口也被锁住。

3.1 建筑情况

夜总会位于由几栋建筑组成的综合体建筑中，夜总会内有一个中央舞池，周围有几个散座区，散座区里摆放着软垫长椅，布局如图 3.1 所示。图中红圈内是起火散座区，宽约 17 米，纵深约 10 米。长椅安装在斜坡上，由 50 毫米的聚氨酯泡沫和聚乙烯包裹。图 3.2 显示，帘布可以将散座区与中心区域隔开，这个帘布可以根据在场人数调整舞厅的大小，该帘布由易燃材料制成，主要材质为涤纶，内衬为聚乙烯。

后墙和侧墙覆盖着聚酯瓷砖制成的易燃材料，散座区的天花板是隔热的，该隔热层迫使（部分）热量流向中央舞池区域。

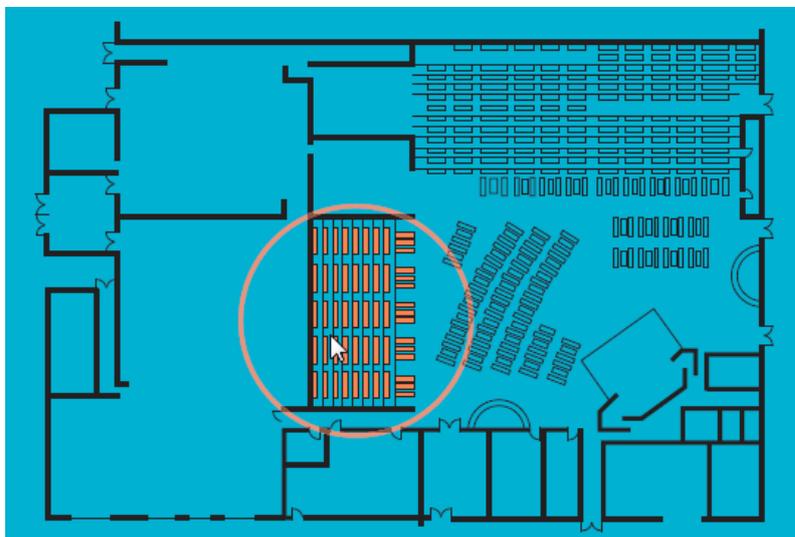


图 3.1 夜总会的平面布局（图片：Bo Andersson）

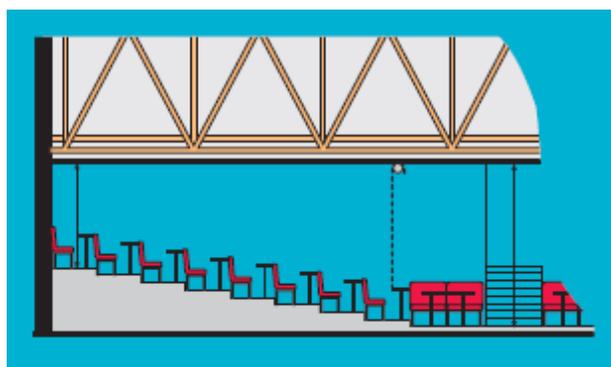


图 3.2 厅室的剖面图，垂直虚线表示帘布的位置。（图片：Bo Andersson）

3.2 火灾情况

火灾是从散座区后方开始的，最初的小火没有引起在场任何人的注意。夜总会员工决定尝试自己灭火，灭火失败后才报的火警，就连参加派对的人一开始也选择留下来看热闹，疏散工作开始得太晚了。

不知何时，一名员工打开了隔开散座区和中央舞池区域的帘布。在此之前，烟气流动一直限制在一个区域内。帘布打开后，火势迅速发展，散座区内发生了轰燃，高温浓烟涌入中央舞池，很快就引起了恐慌。

3.3 轰燃

由于火灾造成的死亡人数较多，政府下令对火灾进行彻底调查。BRE（英国建筑研究机构）进行了全尺寸模型实验，搭建了发生火灾的散座区，里面摆放着与夜总会里相同的长椅和桌子，安装相关的设备后，开始了真火实验。整个实验过程都被拍摄下来，视频剪辑版可在 youtube 上观看。影片很好地展示了散座区内火灾发展过程，尤其是轰燃阶段清晰可见，我原本希望在本文中提供视屏中的图片，但被 BRE 拒绝了。如果读者想搜索更多资料，可以访问 www.youtube.com 并输入“星尘夜总会大火”。搜索结果的顶部通常会有一个 50 秒左右的短片，大家值得花些时间多看几遍视频片段，以了解轰燃的猛烈性质，视频还表明轰燃是一种持续数秒的现象。

视频第 5 秒，五排长椅中的前四排仍然清晰可见，第五排长椅起火，火势限制在一定区域内，现场已经形成了深灰色的烟气层。影片第 9 秒时，可以看到第三排长椅的座位开始热解，8 秒后，第二排长椅开始热解，再过 2 秒，第一排开始热解。第 24 秒，最前面桌子上的烟灰缸开始着火，室内显然发生了轰燃。在过去的 19 秒里，火焰从散座区后墙向前方蔓延，烟气的颜色从深灰色变为深黑色。从第 29 秒开始，可以看到高温烟气流散座区，并被点燃。在实际火灾中，烟气流向中央舞池区域，这一现象以惊人的速度发生，大量高温烟气进入中心区域，造成大量人员伤亡。

4. 参考书目

- [1] Drysdale Dougal, An introduction to fire dynamics, 2nd edition, 1998
- [2] Bengtsson Lars-Göran, Enclosure Fires, 2001
- [3] Grimwood Paul, Hartin Ed, Mcdonough John & Raffel Shan, 3D Firefighting, Training, Techniques & Tactics, 2005
- [4] Lambert Karel & Desmet Koen, Binnenbrandbestrijding, versie 2008 & versie 2009
- [5] Hartin Ed, www.cfbt-us.com
- [6] Report of the independent examination of the stardust victims committee's case for a reopened inquiry into the stardust fire disaster
- [7] Raffel Shan, www.cfbt-au.com
- [8] Mcdonough John, New South Wales Fire Brigade, personal communication , 2009
- [9] Lambert Karel, Brandgedrag, 2010
- [10] Gaviot-Blanc, Franc, www.promesis.fr
- [11] International Fire Instructor Workshop (IFIW), group conversation, 2010
- [12] Kerber Steve, Impact of ventilation on fire behavior in legacy and contemporary residential Construction, 2011

5. 作者说明

我个人认为，今后最好也能讨论比利时的案例。我感觉在我们国家，极端火灾现象的案例数量也在不断增加。如果您处置过极端火灾现象，欢迎您随时通过电子邮件发我一份火灾情况报告（最好附带图片），karel.lambert@skynet.be。

Karel Lambert