

极端火灾现象的解决方案

作者：Karel Lambert

翻译：橙色救援微信公众号

1. 引言

过去几年来，人们对火灾特性的关注越来越多。这种改变早该进行了，因为消防部门对火灾特性的认识和理解非常缺乏。例如，我在 2002 年参加大队长培训的课程中，并没有涉及烟气燃烧现象的内容。即使在初级消防员培训课程中也很少涉及这方面的内容。幸好这种趋势在近几年得到了遏制。路漫漫其修远兮，但至少我们正在朝正确方向前进。

每一门学科（工程学、医学等）首先要教会学生理解某个问题，然后再教他们如何解决问题。医学在不断发展，五十年前的一些绝症现在已经可以成功治疗，但还有一些疾病，医生仍然无能为力。

消防工作也是如此，消防员（无论级别高低）首先需要了解问题，他们需要研究火灾特性，以便知道可能会出现什么问题；接下来，有很多解决方案可以避免事情出错，不过有些情况我们还没有答案，本文将列出不同的解决方案。

2. 技战术

2.1 技术

自 2010 年起，消防员基础培训课程就包括了水枪技术，这个词很明显谈论的是技术层面。技术是由单个消防员完成的动作，通常情况下这名消防员会得到队友的协助，但他（她）也有能力单独完成。

一两个人在一个地点应用一项技术是一种简单地处理问题的方式。就像足球运动员踢点球。一个人来确定问题，选择解决方案并执行。例如：*我看见一处小火，决定使用直流多股技术灭火，操作水枪执行。*

消防员如果要使用各种技术来处理极端火灾现象所带来的问题，需要进行大量的训练。首先，他们需要了解火灾特性方面的知识，否则对问题就没有足够的理解。其次需要一定的技能（如水枪技术），这些技能可以单独教授。当他们具备识别问题的知识水平、能够选择正确技术、并有能力执行该技术时，消防员就很有可能在灭火过程中防止极端火灾现象的发生。



图 1：烟气冷却时也会使用简单的技术，如图中的长脉冲射水。(照片：约翰-麦克唐纳)

2.2 战术

当需要战术来解决特定问题时，难度就会增加。战术通常需要至少一人分析情况，接下来他必须在多个不同方案中做出选择，还必须将选择告知帮助解决问题的其他人；然后每个人都必须了解自己的任务并正确执行，在这里时间往往起着至关重要的作用。在足球比赛中，球队会使用不同的战术进球，所以赛前进行战术讨论和训练在足球运动中是很正常的。只有这样，队中每个人才会知道球队需要他们做什么。

消防部门也是如此，事先经过培训的战术称为“标准操作程序”（SOP）。系统地设置水枪阵地就是一个很好的例子。

为了使战术产生正面效果，需要满足几个不同的条件。与技术一样，消防员和指挥员都需要接受火灾特性和技术方面的培训。问题越复杂，需要的知识就越多。指挥员级别越高，就需要对火灾特性有更深刻的理解。理想情况下，每种战术都是经消防部门高层撰写并批准的 SOP。除此之外，指挥员和战斗员还必须一起进行战术协同训练，否则火灾现场很可能会出问题。

一个简单的技术往往不足以解决涉及到极端火灾现象的问题，现场指挥员（教练）需要使用战术，这些战术只有经过充分的训练才会成功。

3. 防止极端火灾现象=烟气管理

3.1 烟气是问题关键

每种类型的极端火灾现象基本上都可归结为烟气燃烧。烟气相当于很大的势能，这意味着烟气中储存了大量的能量。当烟气转化为火焰时，这些能量就会转移到周围环境中，而且可能发生得非常快，这些情况被称为爆炸。回燃和烟气爆炸等现象就是这方面的例子。在这种情况下，烟气中的能量在不到一秒的时间就会释放出来。这会导致通常伴随着压力波的剧烈现象发生。

在正常的火灾发展过程中，烟气层会在某一时刻被点燃，这称为滚燃。然后烟气以热辐射的形式将能量传递给周围环境。任何与烟气直接接触的物体也会因热对流而受热。由于热量巨大，烟气层内和烟气层下的物体会迅速升温并开始热解，热解的气体中含有大量（化学的）能量，被点燃后会使得温度急剧上升，导致火势蔓延，直至整个房间被火焰吞噬。平面火灾（二维）向立体火灾（三维）的转变称为轰燃，但其猛烈程度要低于回燃。从房间起火到完全燃烧需要几秒钟的时间，所以压力积聚仍然有限。

3.2 冷却烟气

瑞典解决此类问题的方法是冷却烟气，烟气被认为是一种能量储存器，瑞典同行在 80 年代开发了这种操作方法，现在欧洲、澳大利亚、亚洲部分地区、南美洲和北美洲都采用这种方法。

当进行（烟气）气体冷却时，水射入烟气层，能量就从烟气转移到水中，烟气的温度（能量）下降，而水的温度上升。这种方法的原理就是冷却后的烟气更难点燃。极端火灾现象要发生就必须向烟气中添加更多的能量，因为必须超过临界能量水平才能发生此类现象。除此之外，烟气层中还会形成水蒸汽，由于烟气与蒸汽混合在一起，就形成了一种缓冲层——被称为热压载。发生滚燃时，释放出的部分能量会被烟气中的蒸汽吸收，所有被蒸汽吸收的能量都无法用来加热烟气层下的物体，因此冷却烟气层使极端火灾现象无法发生，或者减缓火灾的发展。

3.3 排烟

美国同行在这个问题上有不同做法，他们主要将烟气视为燃料，认为解决这个问题的最好办法就是排烟。

传统做法是在屋顶上开洞，让烟气通过自然通风的方式排出，美国的房屋通常是用木头建造的，这意味着屋顶开洞比我们（比利时）这里容易得多。如果无法在屋顶开洞，那就破窗，这种方法历史悠久，可以追溯到 19 世纪。

通风总是由两股气流组成：烟气流和空气流入。新鲜空气会导致火的热量释放速度加快，美国消防员使用大口径水带进入建筑来应对这种情况，使用流量为每分钟 2000 升的 70mm 的水带进行内攻灭火是很正常的事情，通过这种方法，他们确保在灭火能力和火的热释放率两者之间保持平衡。

然而在过去的十年中，这种操作方法出现了越来越多的问题。和我们这里一样，美国消防员遇到越来越多通风受限型火灾。UL 最近的研究表明，即使最小程度的自然通风（例如

打开一扇门），也会导致通风受限型火灾的热释放率迅速增加。研究人员得出结论，通风诱导型轰燃的风险已经变得非常大，这种现象往往发生在内攻人员找到起火点之前。

美国某些地区通过积极使用通风设备来应对这一新问题。正压送风机用于在内攻人员进入建筑前清除烟气，这种战术被称为正压进攻（PPA）。很明显正压通风在许多情况下都有优势，但在使用时必须格外谨慎。比利时消防部门在灭火时使用正压通风设备的经验还不足，只有时间才能证明正压进攻能否为通风受限型火灾提供解决方案。

4. 从“燃烧三角形”角度切入的解决方法：反通风

在上一节中，烟气首先被描述为一种储存能量的方式，随后又被描述为一种燃料。这实际上是燃烧三角形的两条边，第三条边由氧气构成。可以通过与这条边相互作用来阻止某些现象的发生。

尽可能不让火获得氧气的战术称为“反通风”，反通风可以有不同的实施手段。它最适用于处置封闭建筑物的通风受限型火灾。此时火势因缺氧而受限，只要没有新的开口，火势就会保持这种状态。将建筑所有开口都封闭起来，消防员为内攻赢得了准备的时间。在进攻过程中，可以尽可能关闭入口的门，只留一个小开口供水带通过，这样剩下的只是一团小火。

反通风的第二种实施手段是关闭起火房间的门，当火灾处于发展阶段时这样做，足以防止发生轰燃。当火势蔓延迫在眉睫或需要更多时间来部署进攻路线时，这个战术可能会被证明是有用的，在这些情况下关门可以避免很多麻烦。

5. 具体应用

5.1 轰燃

轰燃是通风型火灾发展过程中发生的一种现象，它是火灾从发展阶段到全面燃烧阶段的过渡。每名消防员的最终目标都是扑灭火灾，当内攻人员向着火点推进时，可以射水冷却烟气，这将降低轰燃发生几率。正压进攻战术创始人克里斯-加西亚（**Kriss Garcia**）的培训课程中教授如何顺风灭火，这种方法在美国取得了良好的效果，目前还不清楚这种方法是否适用于比利时地区的房屋建筑。

5.2 通风诱导型轰燃

这种变异轰燃发生在通风受限型火灾的发展过程中，它是通风受限型火灾向全面发展阶段的过渡。在此类火灾发展过程中不再有烟气层，因为烟气已经充满整个房间，这意味着消防员前进过程中几乎看不清周围环境。此时涌入的空气非常湍急，导致空气和烟气迅速混合，

因为消防员完全处于烟气中，发现轰燃发生为时已晚。



图2 “在通风受限型火场中使用眼镜蛇水枪（照片：帕特里克·佩尔森，©瑞典水切割系统公司 2012）

气体冷却是防止或延缓这种现象发生的一种方法，在这种条件下内攻前进的每个小组都应进行气体冷却，不过也可以在进入之前进行气体冷却，“眼镜蛇”水切割系统提供了在内攻前快速冷却多个不同位置烟气的可能性，另一种方法是使用电钻与穿刺水枪结合。

正压通风也可以提供帮助，当破拆出的排烟口较大时，大量能量通过排出的烟气向外逸出，但同时火场也获得了额外的氧气，火的热释放率也会上升，因此也会产生更多的能量。必须进行相关研究，以确定排出的能量是否能够抵消额外产生的能量。

除此之外，能够抵达起火位置也很重要。在图2中，车库上方的阁楼区域发生了火灾。如果整个建筑都充满烟气，通风可能会使烟气从底层排出；同时建筑也有可能存在小裂缝让新鲜空气进入阁楼。这样一来，火势会更加猛烈，如果没有供消防员进入阁楼的楼梯，灭火将变得不可能。在这种情况下，消防员可能会因为通风而失去这栋建筑。

在瑞典，正压通风与“眼镜蛇”相结合。首先使用“眼镜蛇”冷却烟气，然后进行通风，最后开始内攻。在整个行动过程中，都会使用热成像仪评估现场情况，这一战术似乎取得了良好的效果。

最后一个选择是使用“反通风”，这意味着房间将尽可能保持封闭，缺氧会使火势暂时停止发展。内攻人员可以使用45mm水带寻找着火点，当然这只有在烟气温度不太高的情况下才能做到。除此之外，消防员最好是对建筑物的布局和起火位置了如指掌并尽可能采用结构化的战术，还必须留有（几个）增援小组。

5.3（热）回燃

这种现象会产生压力波，人体无法承受超压状态，这就是为什么绝对不应该让消防员进入将发生回燃现场的原因。

气体冷却可以提供一种解决方案，冷却必须从外向内进行。可以使用“眼镜蛇”或穿刺水枪，在这两种情况下，都需要长时间向内射水，毕竟这两种工具的流量都非常有限。另一种方法是使用 45mm 水带，通过一个小开口或一扇可以反复开关的门向内射水。



图 3 在将发生回燃的情况下使用穿刺水枪，射入的水产生冷却效果，形成大量蒸汽，惰化房间。

作为最后的手段，消防员可以选择触发回燃。这种战术可以彻底消除风险，通常在回燃后会残留少量火苗，可以说压力波已经把火吹灭。在回燃发生后，可以开始内攻灭火。如果选择这种方法，消防员必须考虑到结果可能与预期不同。

5.4 烟气燃烧

在发生滚燃或烟气爆炸等烟气燃烧现象时，与空气充分混合的一定量烟气被火源点燃。有时这些烟气积聚在天花板上清晰可见。在这种情况下，避免烟气燃烧的合理方法是防止火源进入烟气层，但这一点很难保证，毕竟火焰可能会出乎意料地从门缝或其他开口进入，点燃混合物。

烟气也会积聚在空隙（假天花板、假墙等）中，房间里的消防员往往看不到烟气，这是一个潜在的非常危险的情况，因为消防员们根本没有意识到危险的存在。

过去，烟气燃烧往往发生在看似稳定的情况下，着火位置很难确定或者看似已经被扑灭。换句话说，有足够的时间采取措施来防止烟气燃烧。在这种情况下，排烟是一个不错的选择，如果能在墙壁和天花板被破开前将烟气排出房间，就能降低发生事故的风险。排到室外的烟气不会再引起任何问题。因此在时间允许的情况下（着火位置不明或火势已被扑灭），最好将房间内的烟气排出。

预防胜于治疗，有时可以防止烟气进入毗邻建筑（如联排住房），这可以通过正压送风机完成。与正常排烟相反，正压送风机没有排烟，风扇产生的气流会使建筑物内与着火房间相比持续处于正压状态，这将使烟气难以进入受保护建筑。不过关键是要先检查火势是否蔓延到将要加压的房间内，如果火势已经蔓延到那里，正压送风的弊大于利。大多数情况下消防队使用的是机动送风机。虽然可以保护房间，但也会产生一氧化碳。火灾扑灭后，可以通

过自然通风或电动排烟机排出一氧化碳,消防员在确认现场安全前应进行一氧化碳浓度检测。

6. 参考书目

- [1] *McDonough John, personal communication, 2009-2013*
- [2] *Hartin Ed, personal communication, 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, Hartin Ed, Mcdonough John & Raffel Shan, 3D Firefighting, Training, Techniques & Tactics, 2005*
- [6] *Bengtsson Lars-Göran, Enclosure Fires, 2001*
- [7] *Hartin Ed, www.cfbt-us.com*
- [8] *Lambert Karel, Rapid Fire Progress: een overzicht (translation available: "Rapid Fire Progress: a summary", de brandweerman, March 2013*
- [9] *Garcia Kriss, Kauffmann Reinhard & Schelbe Ray, Positive pressure attack for ventilation & firefighting, 2006*
- [10] *Lambert Karel, Nieuwe inzichten omtrent ventilatie (translation available: "New insights into ventilation"), De brandweerman, May 2011*
- [11] *CCS-Cobra training program, Boras, Zweden, March 2010 Lars Ågerstrand, www.firegear.co.uk*

Karel Lambert