

阻烟器

作者：Karel Lambert

翻译：橙色救援微信公众号

1 新型火灾，新型问题，新型方案

在消防系统内，火灾特性正发生变化这一事实已人尽皆知。新的施工方法导致火灾在轰燃前无法获得足够的空气，当火灾缺乏空气时，它从燃料控制型燃烧转变为通风控制型燃烧。如果这一转变（即燃料控制/通风控制点，FC/VC点）发生在轰燃前，那么我们面对的就是通风受限火灾；如果转变发生在轰燃过程中或轰燃之后，那么这类火灾被称为通风良好火灾。通风良好火灾必须有足够的开口（门、窗）可用，毕竟燃烧需要足够的空气才能发展。

两种类型的火灾（通风受限和通风良好）在初起阶段的发展是相似的。在这一阶段是燃料控制型燃烧，它会消耗氧气并产生烟气。在通风良好火灾中，新鲜空气的供给源源不断，产生的部分烟气也会通过开口离开房间。

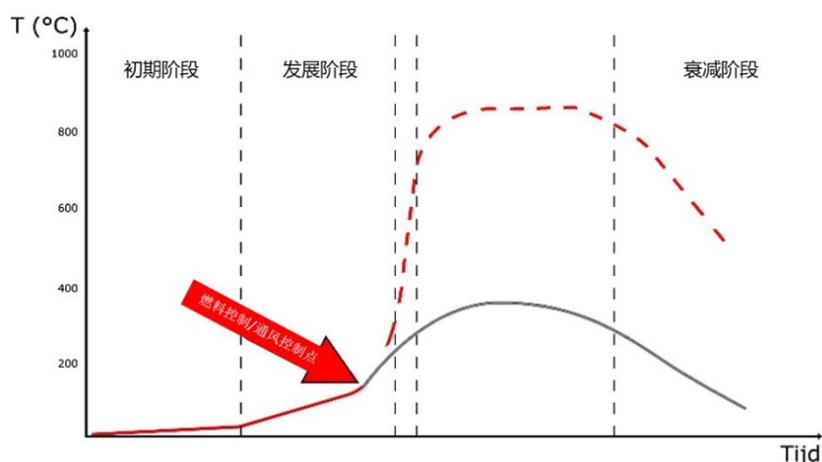


图1 通风良好（红色虚线）和通风受限（灰色）型火灾的发展过程。FC/VC点标志着燃烧由燃料控制型转变为通风控制型。图中所指出的FC/VC点属于灰线，红色虚线也有自己的FC/VC点，大概在轰燃期间或者之后的某个地方。（图：卡尔·兰伯特）

在通风受限火灾的情况不同，房间内氧气含量迅速下降，很快充满烟气。烟气层开始下降，火势减弱。当消防队到场时，他们通常面对的是一个完全被烟气充满的房间，门一打开，就会形成烟气向外流动和空气向内流动，两种气流都将产生灾难性的后果。空气向内流动将使热释放速率增加，在极少情况下，可能引发回燃，而大多数情况下，火灾会发展为通风诱导型轰燃，这对消防员来说非常危险。

无论火场的通风情况如何，烟气向外流动也可能引发很多问题。举个例子：二楼公寓火灾正处于猛烈燃烧阶段。在打开公寓房门时，热烟气和火焰涌入走廊，烟气朝中部楼梯移动，楼梯内将充满烟气。然而这些楼梯很可能是着火层上方居民唯一的逃生通道。10楼的居民向窗外看到冒出的火焰，当他们决定疏散时，首先进入一个明亮的走廊。但在下楼的过程中，烟气越来越浓，越来越热。

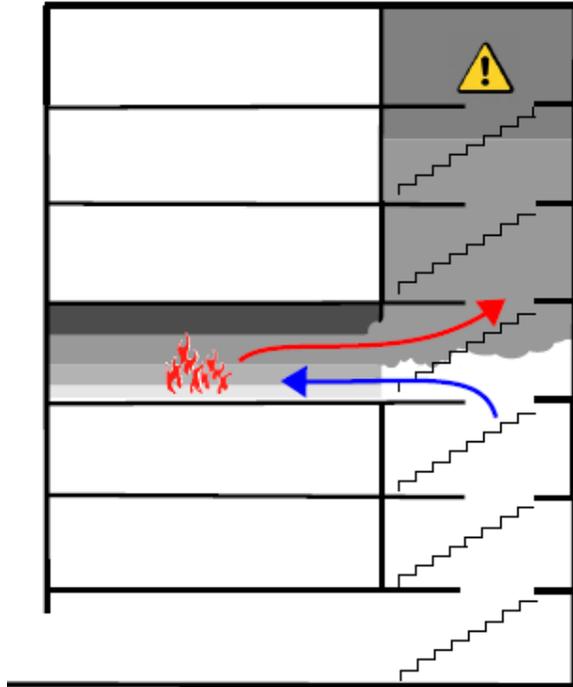


图 2 建筑较低楼层发生火灾时，烟气从门口进入楼梯间，在这里可能达到危险的高浓度，这是楼内住户面临的重大风险之一。（插图：阿尔特·阿纳利奇）

求生本能会促使他们继续向下走，直到昏倒在浓烟之中。布鲁塞尔有几起类似案例，消防部门需要呼叫额外的力量（多达 4 个医疗队）来救助和治疗这类被困人员。

现代建筑通常在楼梯和走廊之间、公寓与走廊之间设置防火门。超过 25 米的建筑物内，必须有一个独立的前室，所以在公寓和楼梯之间有三道防火门。然而，在旧建筑中（新建筑法规出台前修建），公寓房门通常是楼梯与火灾之间的唯一屏障。芝加哥的一场高层建筑火灾，造成楼梯间内 6 人死亡，开始灭火时，防火门被打开，大量烟气进入楼梯间，最终造成 6 人被困，并死于吸入过量烟气。

之前的文章中，我们讨论过如何解决通风受限火灾造成的问题。反通风意味着通向着火房间的门将尽可能保持关闭。通常情况下，在内攻人员进入后，门会再次关闭，只留下水带进出的宽度。一名“看门人”在门口保持房门关闭，并在必要时向房间内送水带，这种方式将限制烟气的外溢。假设门宽 90cm，开口宽度为 9cm，烟气和空气的流量就减少到正常情况的 1/10。在这种情况下，门的开口宽 9cm，高 2m，火灾只能从开口的底部吸入空气。如果这是着火房间唯一的入口，实施反通风措施可将火灾的热释放速率降低至门完全打开时的 1/10，这可以大大降低发生通风诱导型轰燃的风险。

对于通风受限火灾，第二种解决方案是进攻性外部进攻，即从外部向内射水。此时最好不要破坏大的开口，因为这样会导致（过多）新鲜空气进入，有几种装备可以做到这点，如眼镜蛇水切割系统和穿刺水枪，它们可以降低极端火灾现象发生的风险。当温度下降后，烟气流出的速度会减小，但排出的烟气仍是个问题。

第三种防止烟气扩散的方法正在测试中，是给相邻的房间和走廊增压。要达到这个目的，需提前放置正压风机。这是一种相对新颖的战术，但在一些地方已经取得了成功的效果。但是很显然，需要进一步研究来确定在采用这种战术时可以做什么和不能做什么。

除了给房间增压，风机还可以制造空提流动路径。如果气流够大并且有出口，那么公寓入口有可能变成单向进气口。在这种情况下，由于吹入了大量空气，烟气的流出被阻止。这意味着房间内火灾会继续发展，但解决了走廊里的烟气问题。在实际火场中，这种方法的有效性取决于风机的位置，其他房间的门可以关闭的程度以及环境风力。特别是最后一个，会对这个战术产生毁灭性的影响。

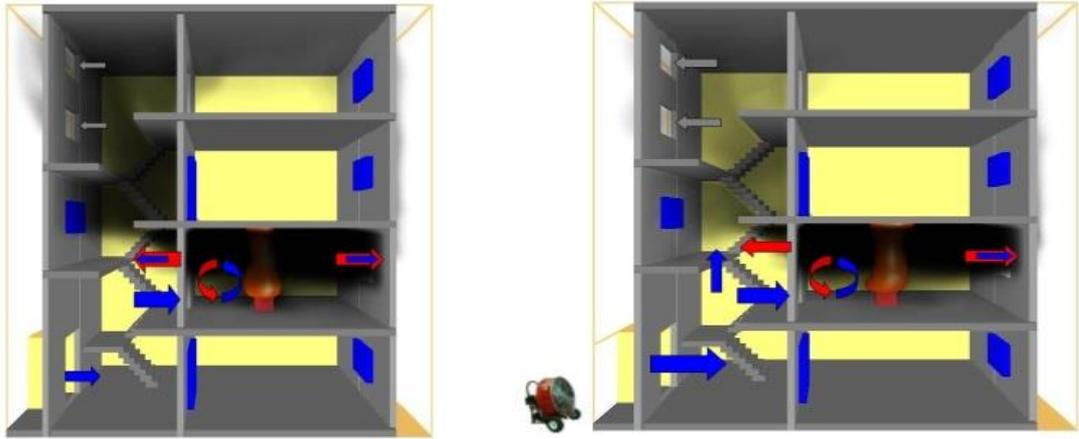


图 2 火场内放置风机与否的对比。左图显示火势自由发展，将烟气推向楼梯间。右图显示风机将烟气推回去，严格限制烟气的溢流出。
(图：迈克尔·赖克)

德国教授迈克尔·瑞克深入研究了上述问题。瑞克教授是一名志愿消防员，他想找到一个简单的方案来保护相邻房间免受烟气的影响。他提出了“阻烟器”的概念。本文旨在更深入了解阻烟器本身，以及其适用性和能力。

2 阻烟器

2.1 器材描述

阻烟器是一个非常简单的装备，本质是一种与灭火毯相同材料制成的门帘，用来封住门的开口。要实现这个目的，阻烟器内置了一个定位装置，可以快速高效地使用。这个装置由一个可以调节到



图 3 阻烟器定位装置近景图。按下夹子就可以调节杆了，随后将杆沿箭头方向转动，增加张力以在门框上固定阻烟器。

(照片：Karel Lambert)

门宽的框架组成，中间是一个可伸缩的杆。这个杆的原理类似于汽车用的防盗锁，杆子长度可调节，一侧顶在油门上，一侧卡在方向盘上。选择合适的长度后，杆将被锁定。

杆子上是一个螺杆机构，可以手动增加张力，这样门帘的顶端就可以牢牢地固定在门框上。门的上端将被完全封住，门帘在重力作用下会遮住门的下端，门帘是自由悬挂的，下端可以掀起，消防员可以穿过它进入房间。

如需提高密封性，可在较低的位置放置第二个阻烟器，门几乎被封住，但缺点是该门无法被用做入口。

2.2 适用位置

阻烟器通常存放在一个手提袋中，到达需要封闭的门口后，才从袋子中取出。然后放置在门框上，门帘完全拉开，一名消防员即可独立完成操作。先将调节杆举高放置，然后将杆子拧紧，使其牢固的固定在门框上。

为了发挥最佳效能，必须将阻烟器放在尽可能靠近起火点的位置。也就是说，如果卧室起火，最好把阻烟器安装在卧室门上，而不是公寓入口的门上。这点对通风受限火灾尤为重要，一旦打开卧室的门，就会形成一条烟气通道，火灾会消耗从临近房间吸入的空气。放置在公寓入口处的阻烟器根本无法阻止这种情况，因此将其放在卧室门口效果会更好。

3 能力

3.1 限制烟气的外溢

在上文描述的公寓火灾中，流入走廊的烟气对于着火楼层上方的所有居民都构成了直接威胁，使用阻烟器可以完全阻止烟气的外溢。这就意味着在疏散阶段，所有逃生和疏散通道仍然可以通行。

在通风受限火灾情况下，最好在开门前安装阻烟器。公寓的入户门几乎都是内开门，这样就可以完全避免了烟气的外溢。

在通风良好火灾中，火场温度会高得多，这会导致烟气流动更快。在传统的内攻种，小组成员必须在向外飘的烟气层下方行动。当他们前进时，热量从烟气层传递给消防员，这种热量传递比通风受限火灾中更多，原因有两点：

1. 烟气层和消防员之间的温差更大；
2. 烟气层的流速更快。

而阻烟器会将烟气溢出的速度降至零，这将极大地限制热量传递。在温度过高前，消防员可以在这种环境下工作更长时间。

3.2 限制氧气向内流动

阻烟器会很大程度上封住门的开口，因此它也会限制氧气的流入。然而气流不会完全停止，因为阻烟器的底部仍然允许新鲜空气进入室内。但这种有限的流量远远小于门完全打开的状态。与“看门人”实施的反通风战术相比，我们注意到这两者允许空气进入的开口形状不同。阻烟器在地板附近有一个水平开口，完全用作空气的入口；而“看门人”会留下一个大约宽 5 到 10cm、高 2m 的垂直开口，烟气层下方的区域用于空气向内流动。目前尚不清楚哪种方法流入的空气更少，但“看门人”可以协助延伸水带，两者各有利弊。

以空气流入的效果作为观察对象，当门是唯一的通风口时，可以极大地降低通风诱导型轰燃的风险。打开通向通风受限火灾的门时，通风诱导型轰燃可能在两到四分钟内发生。阻烟器可大大减少空气流入，反过来延缓火灾的发展。将继续保持通风受限的燃烧状态，内攻人员就有时间找到并扑灭火灾。

回燃的风险也会完全消失，阻烟器可防止开门时形成的“重力流”。重力流通常会将烟气和新鲜空气混合在一起。当混合过程收到阻碍，就无法形成回燃所需的可燃混合物。

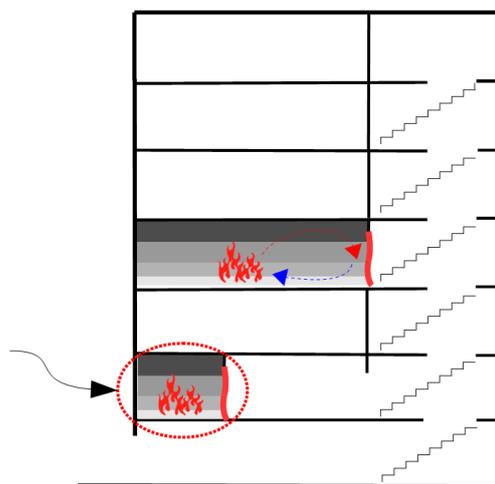


图4 阻烟器需要尽可能地靠近起火放置。(绘图：阿尔特·阿纳利奇)

3.3 限制风机的回流

在过去的几年里，几名研究人员进行了许多试验，以确定风机的最佳位置。当风机放置在门前时，随着与门的距离缩短，空气会更快流入室内。一旦风机形成的气流不能完全覆盖整个门口，门的顶部将形成回流。阻烟器可以解决这个问题，用其覆盖门的顶端，可以阻止回流并提高风机的效率。

研究还表明，进风口和排烟口之间的面积比很重要。风机工作时，理想情况下排烟口的面积应该比进风口更大。大多数情况下，开口的大小是由建筑本身决定的。进风口通常是门，面积大约 2 m^2 ，排烟口可能是一扇已经打开的窗户。一般来说，房间内所有窗户的总面积不会很大，很少超过 2 m^2 。阻烟器可以将门的进气口的面积减小到 1 m^2 ，从而提高正压排烟的效率。

最后，阻烟器与正压送风系统结合使用能更好地保护公寓楼梯免受烟气侵袭。在图 3 中，正压送风配合内攻时，楼梯间仍有少量的烟气，而且正压送风会加速火灾的发展。

使用阻烟器可以阻止烟气的外溢，并限制风机对火势的影响。如果起火公寓的住户打开了房门，大量的烟气会涌入楼梯间。消防队可以先用阻烟器封住门口，然后打开一个排烟口，利用风机清除楼梯间的烟气（见图 7）。烟气消散后，可以关闭排烟口，楼梯间内将形成一个正压区域，以保护其免受着火房间排出的烟气影响。



图 6 阻烟器覆盖了门的上半部分，限制了风机引起的回流，因此风机可以放置在靠近门的位置。（图片：迈克尔·赖克）

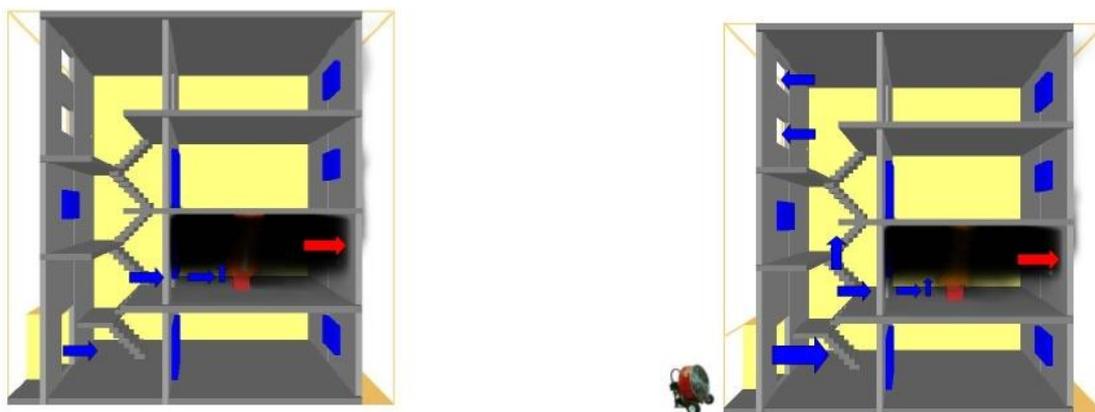


图 5：组合使用阻烟器和正压风机，相比没有使用阻烟器，楼梯间内环境更好。（绘图：迈克尔·赖克）

3.4 通过观察帘布来评估火场态势

阻烟器牢固的固定在顶端，底部的帘布是自由垂着的，也就意味着帘布会受气流的影响。我们可以通过观察其运动，得出特定的结论。有三种不同的可能性：

1. 帘布向内移动。
2. 帘布静止不动。

3. 帘布向外移动。

当帘布向内移动时，可以断定火场上存在第二个通风口。火灾可能从窗户或另一扇通往阳台的门排烟。阻烟器下方的空间被有效地用来吸入新鲜空气。第二个通风口的气流可以是双向流动的，这样火灾将比仅有前门时获得更多的空气。需要注意的是，通风良好火灾的热释放速率相当高。

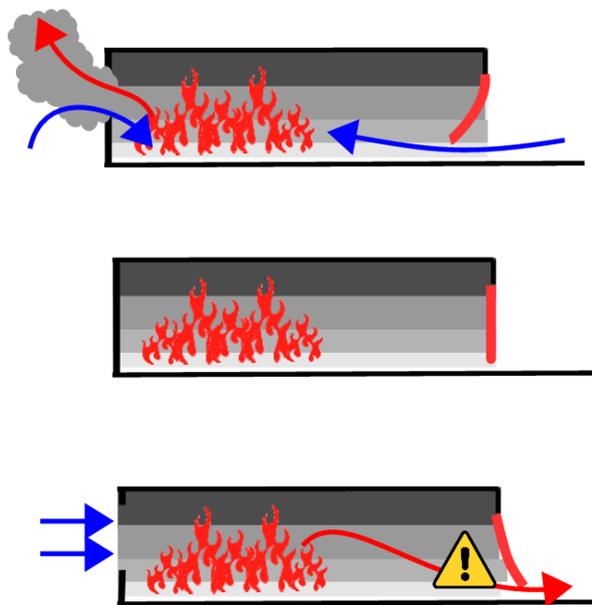


图6 帘布的三种可能运动方式，提供了有关室内火灾的信息。（图片：阿尔特·阿纳利奇）

时甚至有两个入口。当火灾发生在有阻烟器的进户门下方时，那这扇门将起到烟囱的作用，这会导致帘布向外移动。

3.5 减少烟气造成的损失

阻烟器还减少了烟气对起火房间的相邻房间造成的损失。火场上烟气造成的破坏往往相当严重，所有烟熏的表面都必须清洁，这是一项庞大的工作。经常有很多物品无法恢复，只能扔掉。墙壁需要先清理，再用一种特殊的产品中和气味，墙壁通常都需要重新粉刷。



图7 德国一家医院发生火灾。左图显示房间内曾充满烟气。右图是走廊拍，中间是起火房间，走廊没受到烟气损害，阻烟器放在图片右侧的地板上。（照片：迈克尔·赖克）

当帘布静止不动时，火灾没有第二个通风口可用。这意味着火灾发展依赖从阻烟器下方进入的空气。因为这一区域面积非常小，火势将维持在较小的状态。这种情况下，火灾是由通风控制的。帘布可能会不时地轻微移动，这是由房间内外压力差变化引起的。

当帘布向外移动时，情况就很危险了。只有在有气流进入受保护区域时，帘布才会向外移动，此时通常还有烟气从帘布下方冒出。在这种情况下，火场内还会有第二个通风口，在风的作用下，它会成为一个完整的进气口。

这就是风驱火，此时要万分小心。帘布向外移动还有一种情况，是两层公寓发生火灾。通常公寓入口位于首层，但并非总是如此，有

时甚至有两个入口。当火灾发生在有阻烟器的进户门下方时，那这扇门将起到烟囱的作用，这会导致帘布向外移动。

所有这些导致过火房间的清理费用很高。特别是烟气在排出前穿过了几个房间，损失惊人！使用阻烟器将在很大程度上避免这种损失。图 9 显示了阻烟器的效果。一间医院的房间在火灾后被烟尘覆盖，但是阻烟器避免走廊受到损失。

4 缺点

当然，阻烟器也有不足之处。阻烟器存放于手提袋里，这个袋子有一定尺寸。内攻人员本来就要携带大量装备：空呼、热成像仪、水带、哈利根铁铤……可能无法再携带一个装有阻烟器的袋子。幸运的是，在通风受限火灾使消防员有一定时间来思考行动方案。如果一个关着门的房间发生通风受限火灾，那么可以派一名消防员去取阻烟器。同时，可以安排人员部署排烟机，来清除缝隙溢出的烟气，创造正压环境，阻烟器放置好后便可开展内攻。

如果是通风良好火灾，当消防员面对的是发展阶段火灾，此时火场内已经形成了烟气层。烟气正流向相邻房间，导致烟气层下降得非常缓慢，这意味着能见度保持很好。安装好阻烟器后，烟气层下降速度加快，能见度的将加速降低。

5 结语

在德国，阻烟器人尽皆知，目前在用的超过一万个。瑞克教授收集了 1400 份使用阻烟器的火灾事故处置报告，很显然阻烟器可以加入我们的灭火装备中。

6 参考文献

- [1] *Lambert Karel & Baaij Siemco, Brandverloop: technisch bekeken, tactisch toegepast, 2011*
- [2] *Lambert Karel, Solutions to Rapid Fire Progress, de brandweerman, mei 2013*
- [3] *Reick Michael, Smoke Flow Control and related tactical issues, presentatie tijdens IFIW 2014, Polen*
- [4] *Reick Michael, Smoke Flow and related tactical issues, paper voor IFIW 2014*
- [5] *Lambert Karel, Baaij Siemco, Nieling Hans & Vandenberghe Hein, Brandbestrijding: technisch bekeken, tactisch toegepast, 2015*
- [6] *Lambert Karel, Piercing nozzles, 2014*
- [7] *Arnalich Art, Smoke stopper – operational manual, 2015*
- [8] *Reick Michael, Smoke BlockAID – a portable smoke blocker for firefighting, 2012*
- [9] www.rauchverschluss.de
- [10] *Lambert Karel, Backdraft: fire science and firefighting, a literature review, 2013*
- [11] *Lambert Karel, Experimentele studie van het gebruik van overdrukventilatie in een traphal bij een brandweerinterventie, Masterthesis, Postgraduate Studies in Fire Safety Engineering, Ugent, 2012*
- [12] *Reick Michael, personal talks*
- [13] *Arnalich Art, personal talks*
- [14] *Lambert K, Merci B (2014) Experimental study on the use of positive pressure ventilation for fire service interventions in buildings with staircases, Fire Technology, Vol 50, p 1517-1534*
- [15] *Lambert Karel, Ventilation openings and fire, De brandweerman, mei 2014*