

火场中排烟机的位置

作者：Karel Lambert

翻译：橙色救援微信公众号

在攻读消防安全工程研究生过程中，我写过一篇关于排烟机在楼梯通风中应用的论文。文中包括理论与实验研究，这些信息为通风手册提供了编写的框架。论文的第九章探讨了各种排烟机不同的放置方式，这也是本文的基础。

消防员与学界在如何放置排烟机上存在很大分歧，问题的关键在这两个重要因素上：排烟机的种类与排烟的方式。

1 通风排烟的目的

水平排烟与其他方式的排烟不同。在实施前者时，进风口与出风口在同一楼层，从进风口到出风口产生气流。这种情况下，进风口不要形成双向气流路径——同时逸出烟气。如果是高温烟气，就会对从此开口进入火场的消防员造成危险。解决办法是形成一个气封（将气流覆盖整个进风口）。

当整个房间都处于正压时也会出现类似问题，我们不希望看到进风口的顶部有烟气流出现，这会导致房间内难以形成正压环境。

对单元楼进行排烟时，入楼门可能是进风口，而出风口可能是二楼的窗户。这种情况下进风口的双向气流是没有问题的。事实上，二楼的烟气绝不可能流到一楼的进风口。这里的问题是：“不管一层发生什么，我们如何放置排烟排烟机可使二楼获得最大排烟量？”

这里有两种选择：进风口处的气流必须只进不出，或者在提升通风效能的基础上也可双向流动。

关于通风排烟的第二个争论焦点在权衡战术与效能上。为了提高排烟量，排烟机必须放在消防员的必经之路上。从战术角度来看这样很不可取：当内攻人员拖着水带前进时，穿过门的水带可能导致排烟机移动。从安全的角度来看，当消防员必须快速撤出房屋时，门口的排烟机也很碍事。

2 排烟机的种类

2.1 常规排烟机

首先，排烟机会产生一股圆锥形气流。通常情况下常规排烟机应该放置在离门一定距离的地方，以形成气封。这意味着圆锥的底面完全罩住了门。消防员学的是需用空手来感受气流的范围，以确认门是否被罩住。这样能保证气流方向统一从入口向内，门顶部不会有烟气冒出。

你可以使用下列简易方法达到这个目的：排烟机与门的距离=门的高度。大多数进户门约 2 米高，所以，排烟机都必须倾斜着放在离门两米的地方。

这种方法存在一个弊端：部分气流打在门周围的墙壁上，未参与排烟。

马克·亚特因此在 2002 年时对该方法提出了质疑。克里斯·加西亚在其 2006 年出版的书中介绍了该方法，并称完全罩住入口并不是完全必要的。但其在实施正压进攻时有正向的用。从本人的研究中我发现只在给一楼排烟时才需要气封。根据马丁·托马斯博士的研究，排烟机放置的位置取决于要达成的目标。他认为如果排烟机放在离门 2 米的地方，流入的空气量会减少 50%，屋内压力会低 10%。

加拿大国家研究委员会的研究表明，排烟机离门越近，效率就越高，并且倾斜度越低，效率也越高。

除开效率，指挥员同时也必须考虑战术问题。放在门口正前方的排烟机固然可以有最高的效能，但会妨碍消防员进出，并且拖动水带也会使排烟机移动，使其不再处于最佳位置。

权衡这两个因素（效能与战术）后，最理想的解决方案是将排烟机竖直不倾斜地放在离门 1.6 米的地方。在水平排烟情况下，倾斜排烟机会导致气流的上方和侧面产生“文丘里”效应，吸入多余空气。要避免这种现象，可将门“气封”以避免气流从顶部逸出。

最后一个必须考虑的因素是现场情况。消防员们规矩太多，却知其然不知其所以然。在实战中，有些时候排烟机必须倾斜放置，例如：当地面不平整时，排烟机放远或放近半米才能有效工作。或者，门口有台阶比地面高出半米。在这些情况下，最好将排烟机倾斜。

2.2 涡轮排烟机

法国一家公司研发了一款小型排烟机（涡轮排烟机），其生成的气流是圆柱型的，且流速高于常规排烟机。与尝试罩住整个门口的理念相反，这种排烟机设计的目的是使“文丘里”效应最大化——即使是小型设备也可以产生大风量。德国消防工程师克里斯蒂安·埃姆里奇建议，此类排烟机摆放的位置离入口要稍远点。

3 单排烟机的各类放置方式

原则上，使排烟机反向工作是可能的，只不过其效能会大大降低。然而，这可能给只有一个开口的房间抽出浓烟的方法。例如，火灾后从一个约 50 平方米的酒吧排烟。如果没有其他开口，自然通风需要很长时间，用排烟机来“抽烟”速度更快。

同样原理也可用于地下车库火灾的收尾阶段（在车库重新向公众开放前，排出灭火后还残余的烟气，使一氧化碳浓度显著降低）。排烟机向外吹会产生一股气流，带动车库内部的烟气向外排出。

然而，在运用此法时必须牢记烟气会穿过风扇。使用内燃机作为动力源的排烟机会因缺氧而熄火。再者，这些设备不是为这种使用方式而设计的，因此建议仅在没有其他办法时这么用。

4 多个排烟机

如果一栋建筑起火，多个消防站到场，就有多个排烟机，要取得更好的效果可以将这些排烟机组合使用。

下列建议是基于常规排烟机的测试结果，如需确认这些结论是否适用于涡轮排烟机或直流排烟机，必须进行相关研究。

4.1 两个排烟机前后串联

一些学者建议将两个排烟机前后放置，原理是前面的排烟机会强化后方排烟机产生的气流。再者，后方排烟机可以保证入口被全部罩住。换种方式来看，后面的排烟机给前方排烟机供能，这与双水泵增压系统一样。

大多数专家学者建议将功率较大的排烟机放置在前。然而，加西亚更喜欢将较小排烟机放在离门一米远的地方，他说这比使用单一排烟机风量高 30%。Koen Desmet 在他的研究里提到（采用这种方式）效能还能高 10%。

在本人的实验中，我假设前方的排烟机必须离门足够远，不会妨碍到消防员。离门一米远的排烟机会挡住消防员的去路。双排烟机串联要获得最大效能，前方排烟机尽可能倾斜，后方排烟机保持竖直。这种方式比单一排烟机效果好得多。我只做了一组前后串联放置实验；而“V”型放置则做了很多组实验。我可以很负责地说，下文我对“V”型放置排烟机的结论是正确的。

学术上排烟机关于两个排烟机前后放置的方式没有一致意见。但可以肯定的是两个排烟机的效能肯定比一个高，如果前方的排烟机放在离门一米的地方，效能会更高。但是这样却不便于消防员工作。当一扇门不用于进入或撤离时，排烟机的理想摆放方式如下：一个排烟机竖直放在门口正前方，第二个排烟机倾斜放在离门大约 1.5 米远的地方。

4.2 两排烟机平行并联

第二种组合是使两个排烟机并排放置。适用于一般门或车库门，根据门的不同排烟机可平行放置或“V”型摆放。门的宽度起着重要作用。两个排烟机间隔一定距离来罩住整个入口。如果是较高的卷帘门，最好将门放下部分，减小进风口面积。如果进风口有 3.9 米高，不管怎么摆放排烟机都不可能罩住整个开口。将门下放两米，可使两台排烟机吹出的风完全罩住进风口。

在我的论文中，正常开门时两个排烟机并联的效能比单一排烟机高出 51%，这接近两个排烟机串联的效能。需要注意的是，在正常开门前，两台平行排烟机比单一排烟机对消防员的行动阻碍更大。

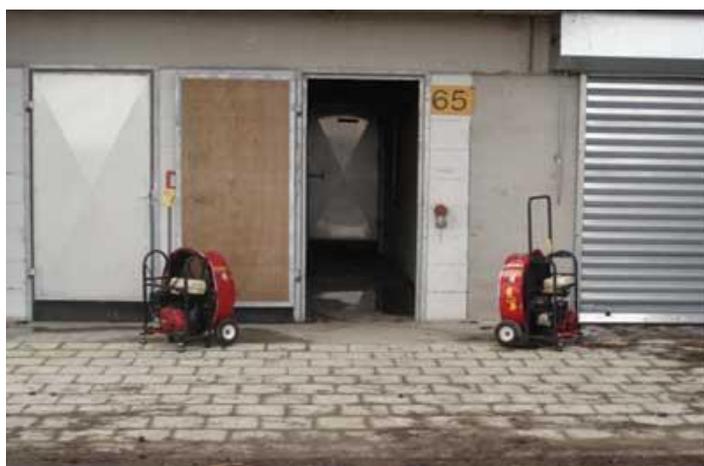
4.3 "V"型摆放

这种摆放方式并为人所熟知，但在平时的工作中也能见到。排烟机以“V”字型摆放（见图 1），都对准门口，原理是利用两者之间的“文丘里”效应。两股气流射入进风口并带入额外的空气。排烟机与排烟机之间、排烟机与门之间的距离大约是 1.5 米。

在澳大利亚，大家学到的都是排烟机必须一个竖直，一个倾斜。原理是前者罩住门的底部、后者罩住门的顶部。我在研究中发现，两个排烟机都不倾斜时效能更高。与使用单一排烟机结论相同。消防员必须考虑实际情况，有些时候由于建筑入口有台阶或地面不平，那么就有必要倾斜排烟机了。

如果火场需要水平排烟且入口需要避免双向气流，那最好是倾斜一个排烟机，这样可以完全罩住入口，但会有少量的风量损失。加西亚称“V”型摆放比串联或并联的效能高 10%，而我发现这一数值可能达 20%。这种摆放方式在不同的场景下进行过测试。与单一排烟机相比，效能提升范围在 52%-164%。这意味着“V”型摆放产生的气流至少是正门口放置单个排烟机的 5.5 倍。至于最大效能，这一数值是 2.6 倍。如果正门放一台排烟机是向建筑内部吹入一定量的空气，那么我们可以认为两台排烟机组合吹入的空气最多是两倍。然而在最佳测试中，测出的是 2.6 倍。多余的增量是因为排烟机间的“文丘里”效应。

在我的研究中，我也尝试了改变排烟机之间的角度，图 1 中有清晰的标注：即门的中心延长线与排烟机中心延长线之间的夹角。在图 1 中，角度为 45° ，太宽。较小的角度可以产生更好的效果， 30° 或 20° （照片 2）结果相似。



照片 1 两个排烟机成 45° “V”型摆放。（本文作者供图）



照片 2 两个排烟机成 20° “V” 型摆放，消防员进出都不方便（本文作者供图）

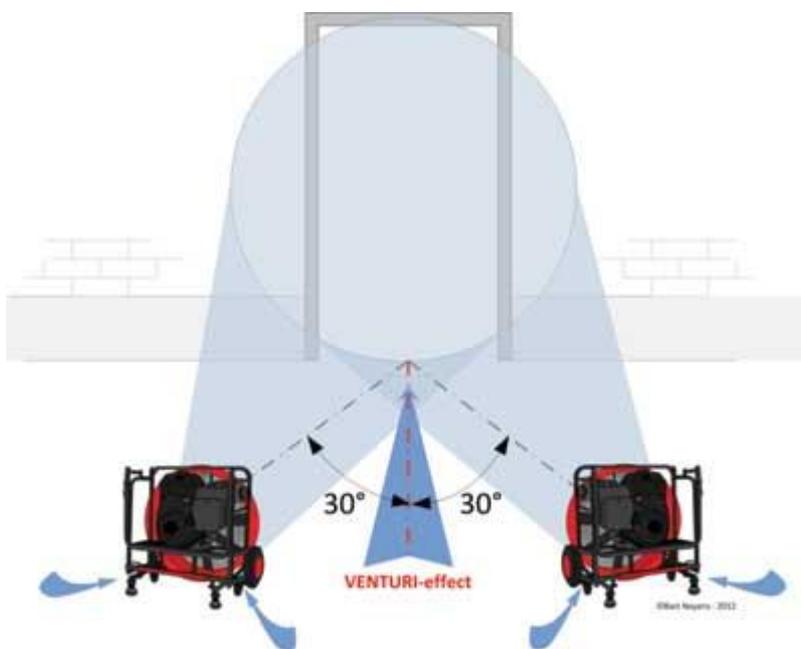


图 1. “V” 型摆放 (Bart Noyens 注解)

当需要为较高楼层进行通风排烟时，“V”型摆放的高效能就派上用场了。着火层距离一楼越远，楼梯间内损失的风量越多。“V”型排烟机就像在楼梯底部的一个“泵”。由于流速更快，“V”型排烟机比单一排烟机的损失更多。关于此问题的更多信息，请参阅我的论文。从战术上讲，“V”型摆放益处颇多。与单一排烟机相反，这种方式不会阻碍消防员通行，两个排烟机之间的空间可用于进出建筑，在其间完全可以铺设一条或多条水带线路。这就是为什么两个排烟机之间 30° 是最好的角度，效能也高、空间也大。而 20° 的话空间太小，消防员无法轻松通过。

如果排烟机后方离墙壁过近，“V”型摆放就不起作用。两台排烟机在车库内以“V”型摆放，两台排烟机都在吸取空气然后向开门的方向吹，吸取空气受车库侧墙阻碍，降低效

能的。照片 3 中左侧的排烟机受阻尤为严重，我在实验中证实了如果侧墙阻碍空气吸取，门前放置单个排烟机的效能比两台“V”型摆放的效能更高。



照片 3 房间内侧墙距离过近，“V”型摆放的排烟机无法吸入足够的空气。(作者供图)

5 实验性质的摆放

也有其他的摆放方式，我测试过一种将两个排烟机以“V”字型摆放在建筑入口，再放一个排烟机在底层楼梯口(照片 4-5)。这种方式适用于一楼有个大厅的建筑。在高层建筑中，入口大门与楼梯之间通常还有一段距离，而且多数情况下两者之间还有多扇门，以上这些因素都会降低风量。这中实验性质的摆放方式确实产生了较高效能。



照片 4 在 Oostkamp 的测试中，两台排烟机在一栋公寓楼入口处以“V”型摆放。



照片 5 第三台排烟机部署在 1 楼楼梯口 (作者供图)

该实验性摆放方式与单一排烟机或双排烟机“V”型摆放排烟机的对比数据结果见表 1。实验性摆放方式比单一排烟机效能高 3.5 倍。

表 1 不同摆放方式产出效能比	
摆放方式	效能
离门160cm单一风机	100%
“V”字型摆放	243%
外部“V”字型摆放+内部一个风机	346%



照片 6 一栋包括多家公司的建筑的航拍图。从左数第二栋发生了严重的火灾。

(图片来源 www.SERF.se.)

在瑞典，排烟机也主要用于保持着火点相邻房间的正压，这通常与冷切灭火技术相结合使用。冷切技术就是消防员使用切割灭火工具在建筑构建（墙、门、地板）上开出一个洞（0.25 英寸），而后向内喷水，冷却烟气。这一战术在 Borås 的一场工业厂房火灾中得到了极好的运用。（照片 7）

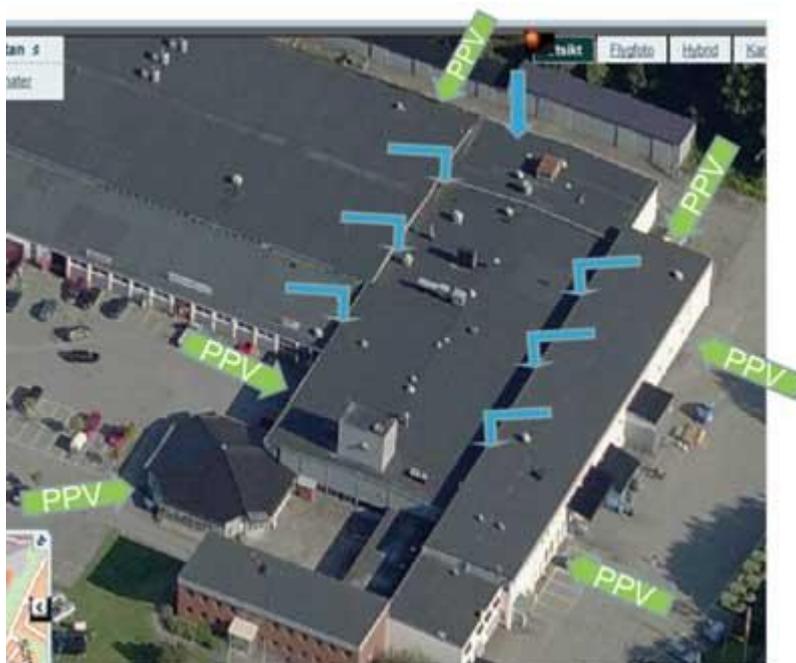


图 7 在 Borås 火灾中，消防队在 6 个不同的方位放置了 11 台排烟机，使紧邻建筑保持正压。

冷切灭火设备冷却了边缘的高温烟气，阻止了火势的蔓延。

在一栋大型工业综合体内其中一家公司发生火灾，火势处于全面燃烧阶段。过火面积达 118.11 英尺 × 262.467 英尺（约 2880 m²）。消防队尽全力保护相邻建筑，一共使用了 11 台排烟排烟机，所有邻近的公司都处于正压状态，使得热烟气难以扩散。同时还部署了 7 台冷切灭火设备，冷却了着火建筑外围的烟气。两者相结合的战术，确保了火灾被限制在起火建筑内。经保险公司调查，消防队的行动减少了两千万美元的损失。

消防员可将流体力学的一般原理应用到排烟中。排烟机可视为气泵，通过将他们放在火场中合适的位置，可以排出地下停车场或各种地下建筑地下室中的烟气。对于这种情况，云梯车器材箱中的小型电排烟机正是理想选择，这种排烟机耗电量低，通常可以接在地下室中的墙壁插座上。将排烟机放置在需要改变气流方向的地方，使气流往正确方向流动。同时，也将其放置在因墙壁摩擦而使流速降低的地方，这时风机的作用就像空气增压泵。所以，在地下建筑火灾中，你必须不断调整排烟机的摆放位置和方式。事实上，没过多久，烟气就会在逐渐消失，当某处不再需要排烟机时，可将其移动到其他地方。这是一种耗时的方法，但在没有防排烟系统的地下建筑中，你也没有其他选择。

这篇文章旨在分享我在写论文时学到的知识，仅限于通风问题的一小部分，并且十分不完善。我的目的是鼓励大家增加对通风排烟的认识和理解。

6 参考文献

1. Karel Lambert, "Experimentele studie van het gebruik van overdrukventilatie in een traphal bij een brandweerinterventie" ("Experimental study of the use of positive pressure ventilation in staircases in an intervention by fire-fighters"), Master thesis for postgraduate studies in fire safety engineering, Ghent University, 2012.
2. Mark Yates, "The wind of change," Brigade command dissertation, Fire Service College, 2002.
3. Kriss Garcia, "Positive Pressure Attack for Ventilation & Firefighting," Reinhard Kauffmann & Ray Schelbe, Fire Engineering, 2006.
4. Martin Thomas, "The Use of Positive Pressure Ventilation in Firefighting Operations," not dated.
5. Loughheed, McBride & Carpenter, "Positive pressure ventilation for high-rise buildings," National Research Council Canada, August 2002.
6. Christian Emrich, "Flow characteristics of the different fan technologies." 2009.
7. Koen Desmet, presentation Ventilatie bij branden ("Ventilation in the Case of Fire"), 2007.
8. New South Wales Fire Brigades, Tactical Ventilation Level 1 course, 2004.
9. Various presentations and practical sessions on the course in 3D-Firefighting, given in Germany in October 2009. Peter McBride, "Wind-driven fire; Tactics & techniques of vertical ventilation; and Smoke movement & control in high rises; and Shan Raffel, PPV Siting & Safe zoning.
10. Södra Älvsborg Fire & Rescue Service (SERF) with SP Technical Institute of Sweden, "Cutting Extinguishing Concept - practical and operational use," 2010.