

火场中，如何设置排烟机的位置？

翻译：橙色救援微信公众号

在攻读火灾安全工程研究生过程中，我写过一篇关于排烟风机在楼梯间排烟中如何应用的论文。文中包括了理论与实际运用两部分，并为排烟操作手册提供了编写的框架。（论文的）第九节探讨了排烟机不同的放置方式，这也是本文的基础。

消防员与学者们在如何放置排烟机这点上存在很大分歧，其中有两个因素起决定性作用：风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是不同的。在实施水平排烟时，（气体）的出口与入口是处于同一水平面上，空气从入口进入再到出口。这种情况下，入口不要形成双向气流，因为这样烟气会从入口冒出。如果是高温烟气，还会对由此入口进入火场的消防员造成危险。

解决的方式是：用排烟机形成的气流包裹住整个开口，形成气封。

整个房间都处于正压时也会发生相似的问题，这时不要将开口开在入口的正上方，这样会导致整个房间的正压压力降低。

对单元房进行排烟时，楼房的入口处可作为空气入口。空气出口可设在三楼的窗户。使用这种方法不会出现双向气流的情况，实际上，三楼的烟气绝不可能流动到一楼的出口处。

那么问题来了：“在不考虑一楼的情况下，如何放置排烟风机可在 3 楼产生最好的排烟效能？”

这里有两种选择：入口处的气流必须只进不出，但在提升通风排烟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。排烟机必须放在消防员的必经之路上才会产生高效能，从战术的角度上看这样很不可取：因为人员内攻时会拖着水带前进，水带很有可能把排烟机拖走。从（内攻）安全的角度上看，当消防员必须撤离时，放在门口的排烟机也很碍事。

2 排烟机的种类

2.1 常用排烟机

首先，排烟机会创造一道圆锥形的气流。所以通常情况下要保证气封，常用的排烟机应该放置在离入口有一定距离的地方：其所产生的圆锥形气流完全包裹住了入口。消防员要检测该操作是否达标只需用手来感受气流的范围即可——气流方向统一从入口向内，上方没有烟气跑出。

你可以使用下列简易方法达成这个效果：排烟机距离门的距离=门的高度。大多数门都高约 2 米，所以，排烟机都倾斜着放在离门两米的地方来（使产生的气流）完全包裹住门。

这种方式存在一个弊端：部分气流打在门周围的墙壁上，并没有参与排烟。

马克·亚特据此在 2002 年时对该方法提出了质疑。克里斯·加西亚在其 2006 年出版的书中讲到了该方法，并称对入口全面包裹并不是特别必要。但是在运用正压进攻时，（这种方法）有积极的作用。

我的研究让我思考气封只在对一楼排烟时有必要，根据马丁·托马斯博士的研究，排烟机放置的位置取决于火场上要完成的任务。他认为如果排烟机放在离门 2 米外的地方，流入的气流会少 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（排烟的）效率越高，并且倾斜度越高与效率越低。

但是，这个问题也必须同时放在战术层面上考虑。放在正门口的排烟机固然可以产生最高的效能，但会妨碍消防员的进出，并且水带的拖动也会使排烟机移动，使之不再处于最好的位置。

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地放在离门 1.6 米远的地方。在水平排烟情况下，倾斜排烟机会导致开口上方产生文丘里效应，造成开口处双向气流。要避免这种现象，开口处要形成气封避免气流从上方流出。

最后一个必须考虑的因素是现场情况，消防员们有时太循规蹈矩，又知其然不知其所以然。在实战中，排烟机必须倾斜放置，比如：当人行道年久失修时，排烟机要比标准距离放远或近半米才能有效工作。或者说，入口因为有几阶楼梯而离人行道有半米高。在这些情况下，最好将排烟机倾斜着摆放。

2.2 涡轮风机

法国一个公司推出了一款小型排烟机（涡轮风机），其生成的气流是圆柱型的，气流的速度也比常用排烟机所生成的快。

与尝试包裹住整个入口的理念相反，这种风机的设计是为了使文丘里效应产生最大效能——即使是小型设备也可以产生大流量，德国消防工程师 Christian Emrich⁶ 建议此类排烟风机放得离入口稍远点。

3 单一风机的其他放置方式

原则上来说，使风机逆向工作是可能的，只不过其效能会大大降低。然而，这为有且只有一个开口的房间抽出浓烟提供了另一种思路。

例如，一个约 50 平方米的酒吧着火后的排烟。如果（酒吧）没有其他开口，自然通风所花费的时间过长，所以用风机来“抽烟”（负压排烟）速度更快。

同样的，在地下车库火灾的收尾阶段（排出扑救之后还残余的烟气使内部一氧化碳浓度显著降低以再次对公众开放），该原则也适用。风机向外鼓风会创造出一股气流带动车库内部的烟气向外转移。

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风机会由于缺氧而罢工。再者，这些设备不是设计来用在这些场合上，所以，这是万不得已的方法。

4 多个排烟风机

如果是一栋建筑着火，那么会有多个消防队到场，也就是说可能会有多个排烟机参与到通风排烟中来，那么将这些风机组合起来可以达到更好的效果。

下列推荐是基于传统风机的测试，如需确认这些结论是否适用于涡轮风机或直流风机需做相关研究。

4.1 两个风机串联

一些学者建议将两个风机串联放置（一个放在另一个后面），意在使放置在前面的风机会强化后方风机吹来的风，再者，后方的风机可以保证入口被全部包裹住。换种方式来看，这种系统就是后面的风机给前方风机供能——就像双水泵增压系统一样。

大多数专家学者建议将较大的风机放置在前。然而，加西亚认为将较小者放置在前比使用单一风机效能高 30%。Koen Desmet 提出在他的研究里效能还能高 10%。

在我的实验里，我的假设是放置在前方的风机必须离门足够远，不能妨碍到消防员。双风机串联要获得最大效能需要前方风机尽可能倾斜而后方风机保持竖直。这种摆放方式比只有一个风机效果好得多。对于串联风机我只做了简单的实验；而对风机“V”型摆放做了多个系列的实验。所以我可以很负责地说，下文要介绍的，我对“V”型摆放的观点是正确的。

但是，学术上对如何摆放串联的风机并没有统一的论调。毫无疑问两个排烟机的效能肯定比一个高，特别是当前方的风机放在离门一米的地方。但是这样却不利于消防员工作。

当一扇门不用于内攻或撤离时，风机的理想摆放应该是串联并按照以下方式：一个风机竖直放在门口，第二个风机倾斜放在离门大约 1.5 米远的地方。

4.2 两风机并联

第二种组合使用两个风机的方法便是并排放置。适用于一般门或车库门，根据门的不同（最重要的因素就是宽度）风机可串联或“V”字摆放。两个风机之间留有一定距离来覆盖整个开口。

如果是较高的组合门，最好将上部放下使整个开口变小。如果开口就有 3.9 米高，那么不管怎么摆放风机都不可能包括整个开口。将门的高度降低两米可使两台风机吹出的风包括整个入口。

在我的论文中,对于一般的门而言,两个风机并联的效能比起只有一个风机提升了 51%。需要注意的是,两台在门口平行摆放的的风机对消防员产生的阻碍更大。

4.3 "V"字型摆放

虽然这种摆放方式并不是大家所熟知的,但在平时的工作中,我们也都能看到。风机摆放的位置形成“V”字型(见图 1)。两台风机都对准门口,作用原理是利用两者产生的文丘里效应:两股气流射入入口并带入额外的空气。风机与风机之间、风机与门之间的距离大约是 1.5 米。

在澳大利亚,大家学到的都是风机必须一个竖直,一个倾斜。其中的原理便是前者包括门的下部、后者包括门的上部。

我在研究中发现,两个风机都不倾斜时产生效能更高。当消防员必须在考虑实际情况下使用单一风机时,该原则也同样适用。有些时候因为建筑入口在台阶之上或人行道不平,那么就有必要倾斜了。

如果火场需要水平排烟且入口需要避免双向气流,那最好是倾斜一个风机,这样可以完全包裹住入口,只是效能会有些许降低。

加西亚称“V”字型摆放比串联或并联的效能高 10%,而我认为这一差异可达 20%。这种摆放方式在不同的场景下得到过验证。与单一风机相比,效能提升范围在 52%~164%。这就意味着“V”字型摆放方式产生的气流比正门口放置的单一风机至少强 11/2 倍,而排烟效能要高 2.6 倍。

如果正门放一台风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风机的组合吹进的空气至少是两倍。然而在实际实验中,测出的多余的量是 2.6 倍。多余的增量来自于两个风机间的文丘里效应。

在实验中,我也尝试了风机之间不同的角度(见图 1):即门的中心线与风机中心线之间的夹角。在图 1 中,角度为 30°。而照片 1 中的角度为 45°,太宽了。较小的角度可以产生更好的效果。30°或 20°(照片 2)效能相似。



图 1 两个风机成 45° “V” 字型摆放。(本文作者供图)



图 2 两个风机成 20° “V” 字型摆放消防员无论进出都不方便（本文作者供图）

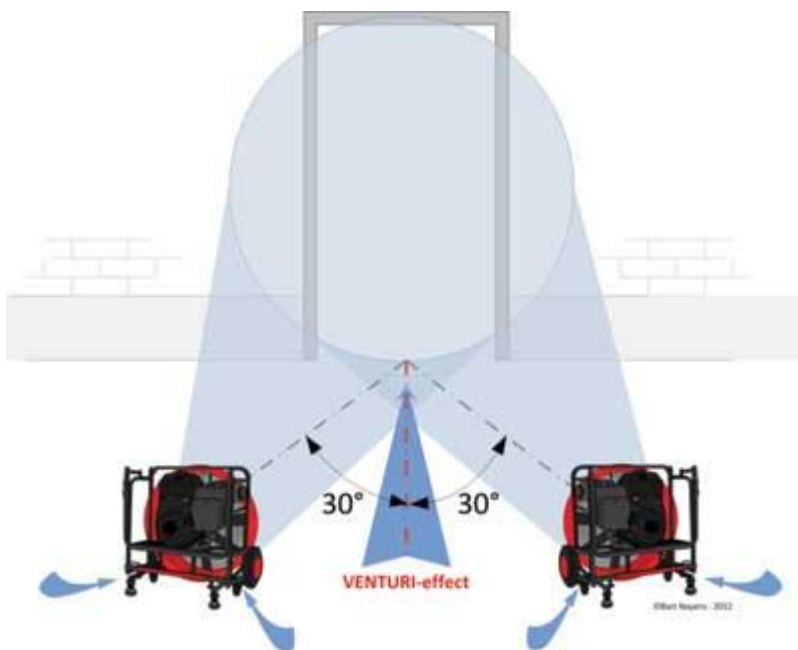


图 1. “V” 字型摆放 (Bart Noyens 注解)

当需要为较高楼层进行通风排烟时，“V”字型摆放的高效能就派上用场了。着火层距离底层越远，楼梯间损失的风量越多。正因为风量更大，“V”字型摆放比单一风机的损失更多。关于此问题的更多信息，请参考我的论文。

从另一个层面上来讲，“V”字型摆放益处颇多：与单一风机相反，这种方式不会阻碍消防员，两个风机之间的空隙可用于出入建筑，在其中完全可以放置一条或多条水带。这就是为什么两个风机之间 30° 是最好的角度：效能也高、空间也大。而 20° 的话，消防员要进出就很不容易了。

在风机旁边有侧墙阻碍气流的情况下“V”字型摆放无法正常工作。两台风机在车库内以“V”字型摆放，两台风机都在吸取空气然后向入口处鼓风，而由于车库侧墙的存在，吸取空气并不顺利，造成效能的降低。

图片 3 中左侧的风机受阻尤为严重，我在实验中证实了如果存在侧墙阻碍空气吸取的情况下，单一正放风机的效能比两台“V”字型摆放的要高。



图 3 房间内侧墙距离过近，“V”字型摆放的风机无法抽取足够的空气。(作者供图)

5 实验性质的摆放

也可以使用其他摆放方式，我测试过的其中一种方式便是一组风机“V”字型摆放在入口处，一个风机在楼梯最底层(照片 4-5)，这种形式适用于一楼有个大厅的建筑。

在高层建筑中，入口大门与楼梯间通常有一段不短的距离，而且很多情况下两者之间还有很多扇门，以上这些因素会造成排烟效能降低。而这些实验性质的摆放方式会产出较高的效能。



图 4 在 Oostkamp 的测试中，两台风机在一栋公寓房入口处以“V”字型摆放。



图 5 第三台风机部署在最底层楼梯间（作者供图）

该实验性摆放方式与单一风机或一组“V”字型摆放风机相比，数据在表 1。实验性摆放方式比单一风机效能高 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%



图6 一栋包括多家公司的建筑的航拍图。左边第二栋发生了严重的火灾。

(图片来源 www.SERF.se.)

在瑞士，大量排烟风机还用于保持着火房间相邻房间的正压，这一战术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）上开出一个小心口（0.25 英寸）后向内喷水，水可以冷却烟气。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）

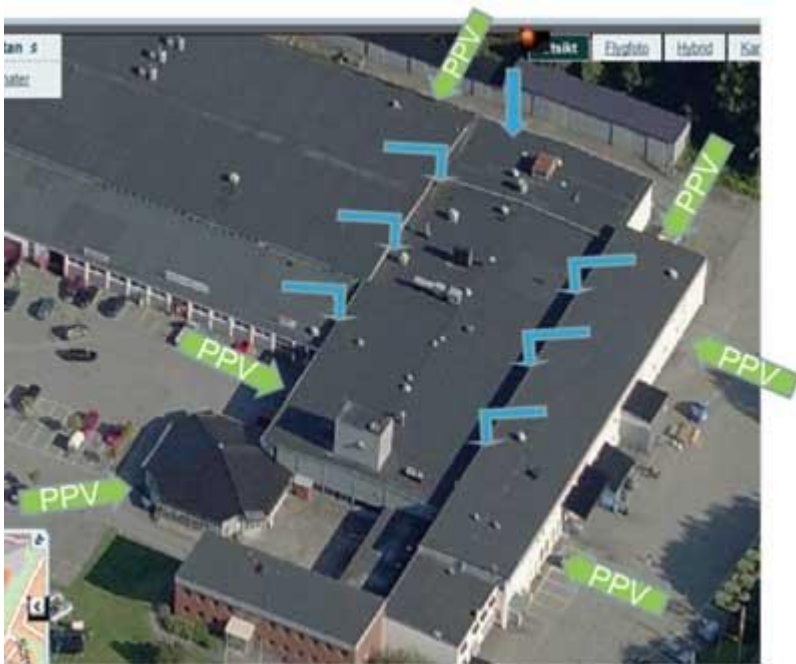


图7 在 Borås 火灾中，消防队在 6 个不同的方位放置了 11 台排烟机，使紧邻建筑保持正压。

切割灭火冷却了边缘的高温烟气，阻止了火势的蔓延。

一场处于全面燃烧阶段的火灾在一家公司中肆虐，公司处在大型工业厂房中。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 台排烟风机，火点紧邻的公司都处于正压下，使得热烟气难以蔓延。

同时还布置了 7 台冷切灭火装置，着火建筑边缘的烟气都得到了冷却。两者相结合（冷切装置与正压通风）确保了火灾被限制在起火建筑内。

保险公司经过调查，结论是消防队的灭火救援行动减少了两千万美元的损失。

在排烟行动中，消防员可运用一般的流体力学原理。排烟机可看做是空气泵，通过将他们放在火场上合适的位置，可以抽出地下停车场或多层地下室中的烟气。对于这种情况，云梯车器材箱中的小型电排烟机正是理想的选择：耗电量低、通常可以接在地下室的插座上。

排烟机通过改变气流方向将其输送到需要的地方，同时也用于提高因在墙上摩擦而降低了流速的气流，这种情况下，排烟机的作用就像是空气增强泵。

所以，在地下建筑火灾中，你必须时刻调整排烟机的摆放方式。这项工作非常消耗时间，但在没有其他排烟设备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，仅限于排烟行动的一小部分，并且十分不完善。我的目标是鼓励更多的人投入到这项工作中，使我们对通风排烟的理解更为深刻。

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.