

消防竖管

防火与灭火之间的联系

作者：Karel Lambert

翻译：橙色救援微信公众号

1. 引言

2003年7月29日20时44分，伦敦消防局接到报警称一栋高层建筑发生火灾。助理分队长杜德尼（Dudency）对该事件的报告如下：伦敦的泰事达（Telstar）大厦是一幢建于上个世纪60年代末的办公楼，占地面积约为1700 m²（17m×100m），未安装喷淋系统，但有干式消防竖管，各楼层均为开放式办公空间。面对此类火灾，伦敦消防局通常会派出两辆水罐车和一辆登高平台或云梯车。



图 1 开放式办公空间示例

第一辆水罐车在接警三分钟后到达现场，此时从外面看并没有明显的着火迹象，因此消防员认为这只是一起普通的办公楼火灾。指挥员询问了大楼的保安，得知火灾探测系统在7楼发现火情并发出警报。

一组内攻人员携带45mm水带乘电梯到达六楼，遇到一名清洁人员，引导他们上楼后迅速从楼梯逃离。当他们

到达7楼办公室门口时，可以清楚地看到烟气和火焰，于是立即向指挥员汇报情况，并要求给竖管供水。消防员在连接45mm水带时，试图用墙壁上的消防软管卷盘灭火却失败了，办公区完全被大火吞噬，消防员不得不后撤。

正当他们关上身后的门时，两名消防队员拖着已充水的45mm水带的赶来。第一次进攻失败几分钟后，他们又发起了第二次进攻。他们一进入房间就感到酷热难耐，不得不再次撤离。此时外面的指挥员听到一声巨响，他看到7楼部分窗户被烤炸了。

他随即提高了火警等级，并请求增派两辆水罐车。此时消防队才到场6分钟，在此期间伦敦消防员进行了现场评估，派出内攻小组前往7楼，找到消防竖管并供水，进行两次进攻（一次使用消防软管卷盘，一次使用45mm水带）。在现场仅有两辆水罐车的情况下，这

很了不起。



图2 大部分窗户已经破碎，楼内喷出的火焰对楼上构成威胁。(图片：伦敦晚间新闻)

20:57 左右，也就是四分钟后，增援的两辆水罐车到场。与此同时，两组人员分别前往 6 楼和 8 楼，在 6 楼设立集结点，在 8 楼搜救被困人员，并用 38mm 水带进行掩护。当搜救人员试图进入 8 楼时，该楼层已经完全被烟气笼罩，但未起火。7 楼的大部分窗户已经破裂，火焰正从建筑外墙向上蔓延，这对 8 楼的窗户造成了巨大的热冲击。

由于通风增加导致着火层火势增大，由于所有窗户都开了，整个着火层已被大火吞噬，过火面积超过 1000 m²，第二次进攻时的水枪流量明显不足。

进攻因温度过高再次失败，内攻人员只能被迫撤离，此时火灾已蔓延至 8 楼，火警等级再次提高，因此又增派了十辆水罐车和一辆云梯车赶往现场。

消防员开始出现热应激反应，一名消防员甚至被同事救出现场。现场情况持续恶化，最终共有 20 辆水罐车、4 辆云梯车以及 135 名消防员到场。凌晨 2 时，已蔓延至 11 楼的大火被扑灭，大楼内过火面积达 5000 m²。

2. 火灾迁移

过去几年来，火灾特性训练备受关注。与 15 年前相比，如今的消防员更能清楚地描述火灾的发展。现在大家都知道通风良好房间内的火灾发展过程，起火大约 4 分钟后发生轰燃，整个房间陷入火海。

但对消防员来说，很少有人知道这种描述只是一个模型，是现实的简化。这个模型很有用，因为它在大多数情况下都是正确的。然而，通风良好火灾特性模型只适用于面积有限的单个房间，通常会想到卧室、客厅等。比利时消防主要面对的小型火灾 (<60 m²) 就适用这个模型。但对泰事达 (Telstar) 大厦火灾来说，单个分区面积超过 1000 m²，在如此大的空间里，该模型就不再适用，发生轰燃并不会使整个空间都被火焰吞没。在某一时间，类似轰燃的现象会出现在某些位置，即房间某部分被大火吞没，但同一房间的较远处，火灾

仍处于发展阶段，在更远处，可能根本没有东西燃烧，那里只有来自邻近区域的烟气。

越来越多的办公空间采用开放式布局。在比利时，允许使用的空间面积可达 2500 m²。世界上有许多摩天大楼内存在整个楼层就是一个开放式办公区的情况。过去几十年来，这类建筑也发生过几次大火，因此人们对这类火灾进行了科学研究。

苏格兰的爱丁堡大学在这方面做了大量工作，并提出了“火灾迁移”（Travelling fires）理论，即火灾在局部燃烧的同时向周边区域蔓延。这意味着火灾在特定区域的热释放率已达到最大值，接下来，邻近区域将开始燃烧，但尚未达到最大热释放率。在火灾发展的后期，会有一个区域的火灾处于下降阶段，这一区域仍在释放热量。而在这一区域旁，火势达到最大热释放率。在这个区域旁还有一个处于发展阶段的火灾，这就是火灾如何在大型房间内蔓延的。（如图 3）

保罗·格里姆伍德（Paul Grimwood）在其著作《欧洲消防员 2》（《Euro Firefighter 2》）中写到，现实中火灾蔓延速度约为 22m²/s。这一数据来源于对几起大型开放式办公空间火灾的分析。这一数据可能看起来很高，但开放式办公区与有房间的楼层相比，没有墙壁阻挡火势蔓延。

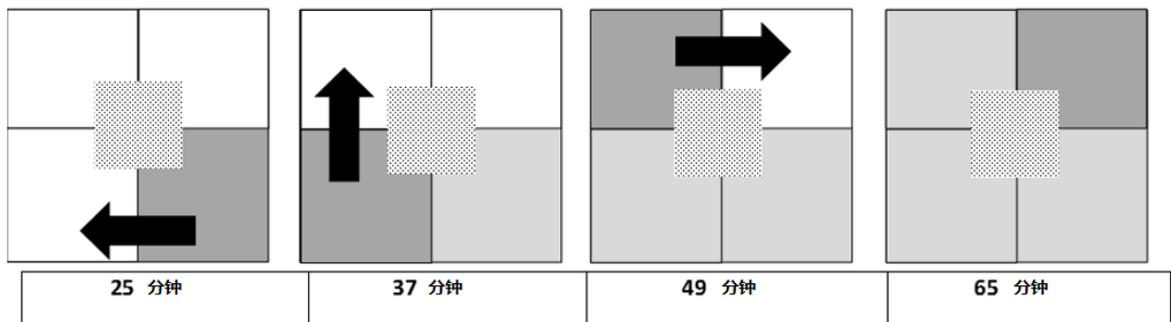


图 3 火灾迁移图示，起火 25 分钟后，火灾处于右下角。37 分钟后，这一区域发展至下降阶段，但左下角正猛烈燃烧。49 分钟后，左上角火势最猛烈，而下方两个区域都处于下降阶段。65 分钟后火势在右上角达到顶峰，其他区域都处于下降阶段。在这期间，火势蔓延到整个楼层。（绘图：保罗·格里姆伍德）

这一数字很好地指出了此类火灾可能会带来的麻烦。消防队到达现场需要多长时间？换句话说，响应时间是多久？在比利时，要求消防队最多 8 分钟内到达现场，届时着火面积可能达到 172 m²。按我们的标准，这已经是一场相当大的火灾了。而且，消防队到场并不意味着他们就能立即出水灭火。实际上，灭火前至少需要 15 分钟进行灾情侦察、爬楼和水带铺设，起火楼层越高，展开战斗耗时就越长，届时消防员将面临 330 m²或更大的火场。

比利时防火规范允许的单一空间可达 2500 m²，理论上是在可以在 30 层建一个如此大的开放式办公空间。

3. 这种情况下需要多大的流量？

这给我们带来了一个问题，处置这类火灾需要多大流量呢？这也是许多科学研究的课题，这方面研究的领军人物有格里姆伍德（Grimwood）、萨德奎斯特（Särdqvist）和哈吉索福克勒斯（Hadjisophocleous）。

早期的研究尝试算出扑灭特定火灾所需的最小流量，即临界流量（CFR）。如果以低于 CFR 的流量灭火，则无法扑灭火灾，火灾将持续燃烧，直到可燃物烧尽。最常见的 CFR 数值是 2 lpm/m²（每分钟每平方米 2 升）。此数据与着火面积有关，而与房间大小无关。但房间面积是潜在燃烧区域，如果消防队没有足够的灭火用水，火势将迅速蔓延。

保罗-格里姆伍德（Paul Grimwood）在 90 年代对流量进行过研究，他提出了战术流量（TFR）的概念，即在短时间内用最少的水量（升）扑灭火灾的流量（升/分钟）。他指出中等火灾荷载的战术流量（TFR）为 4 lpm/m²（升/分钟/平方米），高火灾荷载的战术流量为 6 lpm/m²。为了更好的理解这些数据，重要的是要认识到一般房屋家具都是高火灾荷载。在他后来的研究中，保罗建议在火场使用 5 lpm/m² 作为经验法则。这些经验是非常好的工具，因为他们很简单，易于在火场使用。当最大着火面积为 30 m² 时，使用高压水带；最大着火面积为 60 m² 时使用 45mm 水带（按 6 lpm/m² 计算）。

2015 年，保罗-格里姆伍德（Paul Grimwood）完成这个博士课题研究。他区分了建筑物可能具有的所有不同用途。对办公楼火灾，他发现了以下公式：

$$F = 61 \times A_{fire}^{0.57}$$

当然，消防员在火场上很难使用这个公式，不过它可以用来计算消防竖管的流量是否足以扑灭特定楼层的火灾。当公式中的 A（着火面积）为 1000 m² 时，公式得出所需流量为每分钟 3128 升。这个公式是为建筑师设计的，可以加入防火规范中，建筑师必须设计出灭火时流量足够的竖管。

但流量并不是唯一关键的参数，压力也同样重要。与 50 年前相比，现代的消防水枪需要更高的工作压力。1993 年的洛杉矶，每个消防竖管的压力不得低于 7 巴（0.7Mpa），这可能与 1988 年第一州际银行办公室大火有关。正因这个规定，消防员现在有足够的流量和工作压力来处置此类火灾。通常情况下消防竖管安装在楼梯间内，这样消防员就可以在安全区域连接水带，随后对火势进行扑救。

在比利时，很多消防队都在使用 G-Force 水枪，其在压力较低（<4 巴）时仍能产生不错的充实水柱。即使在几乎没有压力的情况下，消防员也可以将其连接到高层建筑中的竖管

使用。



图 4 现在这种老式水枪有了现代变种。在美国，这种水枪被称为“直流水枪”（照片：瓦尔·圣日耳曼）

在肯特郡，保罗-格里姆伍德（Paul Grimwood）推广了一种老式水枪的现代变体（见图 4），这种水枪在美国被称为“直流水枪”，不能用于烟气冷却。由于枪口出来的都是充实水柱，在较低压力下也有不错的射程，这种水枪摩擦损失比现代水枪小。在世界范围内（包括欧洲），很多消防队在处置高层建筑火灾时使用这种水枪，以抵消低压带来的

影响。他们选择了不太安全的灭火方式（不进行烟气冷却）来换取更强的灭火能力，如果消防竖管有足够的压力，那我们就可以在不损失灭火能力的情况下进行烟气冷却。

4. 比利时将来会怎样做？

4.1 消防竖管与出水口的位置

比利时禁止在楼梯间安装消防竖管，防火规范中的这一规定令人遗憾，这导致得出水口安装在开放式办公空间的中央。消防员不得不在着火层下层寻找出水口。即使不需要破拆任何门，也会浪费很多时间。如上所述，开放式办公区的火灾蔓延很快，分秒必争！

最好修改防火规范（第 4.2.2.7 条）中的这一规定，必须在楼梯间安装消防竖管，这可以在不增加建筑成本的情况下加快火灾扑救速度。

4.2 消防竖管的压力

比利时当局规定消防竖管的最低压力为 2.5 bar，这种限制了消防员的灭火行动。许多国家已经提高了这一要求。早在比利时防火规范出台前，一些国家就要求消防竖管的最低压力为 7 bar。一些消防部门已经对消防竖管的压力提出了更高要求，同时为避免消防竖管压力过高，消防员可以使用减压阀。如果没有减压阀，当顶层 60 米处的出水压力为 7 bar 时，下方消防员将面临 13 bar 的枪口压力，根本无法操控。建筑内出水压力必须有个范围，例如在 7 到 10 bar 之间。

4.3 流量

比利时防火规范中要求使用直径 70mm 的消防竖管,保证在 2.5 bar 压力下每分钟 500 升的流量。格里姆伍德 (Grimwood) 的早期研究告诉我们,这种流量可以让消防队有效扑灭 100 m² 的火灾。如果消防员在灭火时,没有足够的流量会发生什么?泰事达 (Telstar) 大厦火灾就是一个很好的例子。火势蔓延扩大,造成的损失远远超过了应有的程度,消防员也面临着更大的危险。

火灾迁移理论完美诠释了为什么消防员总会遇到面积大于 100 m² 的火灾。只有阴燃或可燃物分布不均匀而无法蔓延的火灾才能被扑灭。而其他发展阶段的火灾,过火面积都可能大于 100 m²。事实上,我们知道在没有喷淋系统或喷淋系统损坏的开放式办公空间中,火场将成为炼狱。

在我们现行的防火规范中,应有一项与空间面积相关的所需流量的指南,目前的流量 (500 lpm) 在大多数公寓建筑火灾是够用的,公寓住宅很少有超过 100 m² 的。大多数情况下,公寓内都有几堵墙可以将火灾蔓延的速度降低到每分钟 22 m² 以下。但在商场和办公楼里大面积区域很常见,特别是当这些区域位于高层建筑种时,消防员在到达着火区域的时间会被推迟,因为他们必须先到着火层,这需要一段时间。

5. 大面积带来的影响

大空间会导致大火,且距地面也很高,这类火灾现场需要大量消防员,需要大量人员将器材 (水带、空呼、饮食补给、急救物资等) 送上去。

当消防竖管流量不足以灭火时,必须找到另一种解决方案。布鲁塞尔消防队使用“移动消防竖管”的灭火方式,这种方法是使用水带提篮沿楼梯铺设 70mm 水带。每辆水罐车都有两个含 70mm 水带提篮,每个水带提篮有 40 米长的水带,可以铺设 4 层楼,因此每台水罐车都能够将水带铺设到八楼。理论上,这种方法可将水供到 40 层楼的高度。

但是,一台标准的水罐车可以加压至 15 bar,水泵压力越高,水力损失和摩擦损失就越大,到达一定高度后,水枪就没有足够的压力。

这个问题可以通过用电梯运送手抬泵来解决。在所需高度的一半处设置手抬泵,连接水带以增加水压。辖区内高层建筑中设有开放式办公区的消防队都应考虑这个问题,并非每种手抬泵都适合用电梯运输,而且还必须考虑手抬泵的驱动方式。电动泵需要有足够电流的插座,机动泵会排放废气。必须提前考虑这些问题,也必须提前进行演练。

大面积火灾也意味着长时间的灭火战斗，高温与楼梯会大量消耗消防员体能，这些人员会感到疲劳或会出现热应激，不得不进行人员替换。在很多办公区火灾中，消防员会分三组，每组灭火 15 至 20 分钟，然后休息 30 或 40 分钟。许多火灾会持续几个小时，这对消防员有很大影响。

如果一开始就有足够的流量，那么灭火行动的时间就会缩短，消防员发生伤亡事故的风险也将大幅度降低。仅凭这一点就应该调整现行防火规范。住宅建筑中需要改变最低水压 2.5 bar 的要求，同样办公楼的水流量也需要增加。

在泰事达（Telstar）大厦火灾中，伦敦消防局出动了 135 名消防员。近期的格伦费尔（Grenfell）大厦火灾中，共 400 名消防员参与灭火行动。与比利时各地的消防局相比，伦敦消防局规模非常庞大。比利时最大的布鲁塞尔消防局，人员最少时仅有 160 人在不同的队站执勤，而其中约有 50 人负责急救任务，这意味着最初只能调派约 100 名消防员。像伦敦和纽约这样的大型消防局，可以通过调集大量消防员来克服防火措施失效导致的火灾，在一场火灾中调集 100 人也不会妨碍其它的日常工作，但对比利时的消防局来说，情况并非如此。安特卫普消防局局长布鲁格曼（Bruggemans）建议，如果发生高层建筑火灾，全国最大的五个消防局应联动处置，这非常切合实际，除此之外，如果想避免像泰事达（Telstar）大厦这样的火灾，我们亟需更新现行防火规范。

6. 防火规范

比利时的防火规范非常完善，许多专业人士在过去几十年里为此付出了艰辛的努力。总的来说，我们大多数的建筑是很安全的，但在高层建筑方面，我们还有些可改进的地方，希望近几年内能够实现提升。

7. 参考书目

- [1] Steve Dudeney (2003) *Telstar House – Londen – 2003*, www.highrisefirefighting.co.uk
- [2] Paul Grimwood (2017) *Eurofirefighter 2*
- [3] Jamie Stern-Gottfried, Guillermo Rein (2012) *Travelling fires for structural design – Part I: literature review*, *Fire Safety Journal*, Vol 54, p 74-85
- [4] Paul Grimwood, *personal communication*, 2008-2018