

对消防高压卷盘的一些思考

作者：Karel Lambert

翻译：橙色救援微信公众号

1 引言

15 年前我加入消防队时，我接触到两种不同的灭火系统：低压水带和高压卷盘。高压软管通常安装在卷盘上，在比利时，软管长度通常为 80 米，内径为 25 毫米。当水泵依照规范操作时，流量可达到每分钟 180 升。

在大城市，非常流行使用高压软管卷盘进行灭火。在布鲁塞尔，估计有 90% 的火灾是用一条或多条高压软管扑灭的。

另一种灭火系统是低压水带，在这种系统中，水带通常是双卷立放。在比利时，水带的常见直径为 45 毫米和 70 毫米。使用时，需要将卷起来的水带抛出才能连接和延伸水带，使用三分水器可以把 45mm 水带和 70mm 水带连接起来。该系统流量不稳定，且很大程度上受水枪类型的影响。



图1 器材箱中的高压软管卷盘、分水器、水枪

（拍摄：Pierre- Henri Demeyere）

在过去五年中，低压灭火系统发生了重大变化：使用单卷水带，也称为“克利夫兰卷”或者“环绕式”，还有一种方法是将水带层叠式收卷进水带提篮。但是，这个新方法的引入受到了很大阻力，许多高压卷盘的支持者认为高压软管卷盘可以很好地完成火灾扑救工作，他们不明白为什么必须改变这种灭火方式。

本文就我们正在使用的几种灭火系统提出几点看法，主要是为了能让大家都对此提出自己的看法，我们需要考虑的一个重要问题是：

“我们是想要一个好的灭火系统来扑灭过去的火灾，还是要一个好的灭火系统来扑灭未来的火灾？”

1.1 为什么高压软管卷盘灭火这么受欢迎？

倒洗澡水时连孩子也倒掉（意思是不分精华与糟粕而全盘否定），这是不可取的。因此

我们需要思考高压软管卷盘灭火是如何变得如此受欢迎，以下几个原因：

高压软管卷盘非常易于使用，软管可以很方便的从卷盘中拉出来。在消防员到达着火点的同时，司机马上可以给水快速进行灭火，这非常适用于室外火灾的扑救。在室外火灾扑救中，高压软管通常从消防车



(拍摄：Pierre-Henri Demevere)

直接拉到火点，此外它还有很强的机动性，一名消防员在灭火时可以轻松操作软管进行室内灭火。

回顾以往经历，我们可以总结一些重要的经验教训。就目前来说，高压软管是在建筑物内快速延伸的最好方法。沿楼梯铺设低压水带并不是一个可行选择，对于发生在三楼的公寓火灾，使用高压软管要比铺设水带快的多。但单卷水带和折叠水带的引入，削弱甚至否定了高压软管卷盘的优势。在特定情况下，经过精心设计和充足的训练的水带部署速度比高压软管更快。

高压软管在使用后很容易收整，只需要把软管卷回到卷盘上，不需要占用太多资源。但水带在使用后，还得重新收卷放回车里，归队后，用过的水带需要清洗晾晒。所以，从使用维护角度来看，高压软管卷盘是一项伟大的发明。

1.1.1 冷却能力

高压软管卷盘的流量约为每分钟 180 升。在其他国家，消防员使用的高压软管内径为 19mm，而这种软管每分钟的流量只有 100 升。每分钟 180 升的流量意味着每秒钟有 3 升水从水枪口射出，我们假定每升水吸收 3 MJ 的热量，这相当于有 9 MW 的理论冷却能力。

当然，这样的冷却能力是在一定前提条件下得出的，假设从水枪射出的 20°C 水全部转化为 300°C 的水蒸汽。事实上，情况并非总是如此，水蒸汽在达到 300°C 之前可能会从房间内逸出。但对冷却能力影响最大的是水蒸发的过程中无法吸收到足够热量，以液态流出的水只能吸收每升 3 MJ 能量的 11%，因此在火场中，冷却能力要远低于 9MW。

那么问题就来了：消防员的控枪能力如何？这个问题影响到高压和低压两种系统的灭火效率。这个问题很难回答，这个领域已经进行了大量研究，很大程度上取决于使用哪种装备，一把好的水枪会产生更高的灭火效率。这也是为什么高压软管如此流行的原因。在高压软管

卷盘刚出现时，低压灭火系统还在用老式的标准化水枪。

这些老式水枪射出的液滴质量很差。高压水枪由于较高的工作压力，产生的液滴质量明显要好得多，这大大提高了冷却效率。消防员使用高压小流量可以和低压大流量产生一样的效果。

灭火效率也会因消防员面对的火灾类型而不同，与小的阴燃火相比，当处理全面发展火灾时，更容易实现高效率。



图 3 典型的房间布局，有许多独立的房间，每个房间的面积是有限的。（图：UL FSRI）

假设消防员在扑救猛烈燃烧的室内火灾时效率为 75%，一条高压软管可以吸收 6.75MW 的热释放率，这相当于燃烧面积为 27 平方米，释放的热（250kW/m²）。图 3 中的厨房面积为 22 m²，右下方的主卧室面积为 15 m²。

“燃烧面积”是指房间的地面面积大小，在任何正常的房间里，都有很多空的地方，这些是屋内的通道。图

3 清楚地显示了空的区域。250 kW / m² 是典型带家具的房间火灾时的平均值。假设 27 平方米的空间内堆满了床垫，那么热释放速率将远远高于 6.75MW（假设有足够的空气用于燃烧）。这种情况下，热释放率可达到 1MW/m²。

通过上面叙述，就不难理解为什么大家都喜欢用高压软管。大部分火灾的燃烧面积小于 27 m²，特别是住宅建筑。通常火灾局限在一个房间，而大多数房间都小于 27 m²，这意味着高压软管卷盘是扑救小型住宅火灾的一个很好选择。

Paul Grimwood 对灭火中的射流流量进行了非常广泛的研究。从 2009 年到 2012 年，他共研究了英国的 5401 起火灾，主要是主城区和郊区的火灾，这些研究使他得出了这些火灾只用高压软管灭火的有趣事实。郊区火灾的平均燃烧面积为 7.72 m²，主城区火灾为 11.14 m²。需要特别注意的是，在这些情况下，使用高压软管的流量只有每分钟 100L。在灭火效率相同的情况下，这意味着比利时的燃烧面积在 14 至 20 m² 之间。所以，高压软管主要用于小型火灾，对于这些火灾，如果不出差错，高压软管卷盘是一个很好的灭火装备。

2 潜在的问题

过去几年里，大家付出了很多努力来提高消防员用水效率，用更少的水获得更好的效果。正因如此，高压卷盘的使用率应该提高。但为什么越来越多的人提倡使用低压水带？我们是否有遗漏了什么？

以上推断主要基于过去的经验，人们在为过去的问题寻找解决方案，并理所当然地认为这些都是很好的解决办法。高压软管是解决过去火灾的好办法，但对未来的火灾，是否也好用呢？

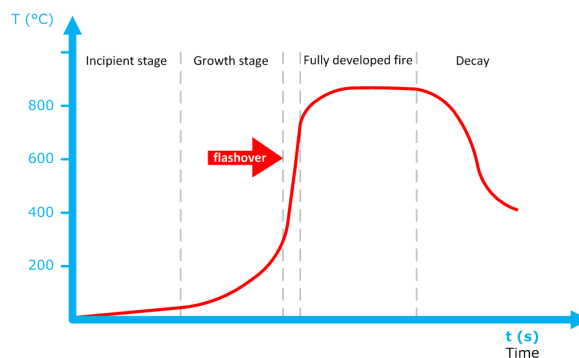


图 4 通风火灾发展趋势图。火灾发展的第一个重大变化是指前两个阶段：初期阶段和发展阶段。1950 年，这两个阶段共需大约半个小时。现在只需要两到四分钟。（图：Bart Noyens）

2.1 火灾特性的改变

大家都知道，在过去的 60 年里，火灾特性已经发生了变化。第二次世界大战后，合成材料的大量使用，导致火灾发展得更快。1950 年，从起火到轰燃需要半个小时，现在只需要两到四分钟，通常人们听到这个的第一反应是：“消防员在达到火场前就已经发生轰燃了？”当然，事实确实如此。但提这个问题的人忽略了通风火灾的模型是指单个房间。厨房里全面发展起来的火灾，最终也会蔓延至客厅。两到四分钟后，那里也会发生轰燃。在这种情况下，消防员可能已经到达现场，消防员可能已经穿过卧室，爬向着火的厨房。当轰燃发生时，它会比过去快得多。**这是火灾特性的第一个重大变化。**

双层玻璃的大量使用和建筑隔热性能的发展，导致**室内火灾特性的第二个重大变化**。如果房间是完全封闭的，那么就没有足够的氧气发生轰燃。通常情况下，单层玻璃在高温下会很快爆裂，但是双层玻璃不会，这时就出现了通风受限火灾。在一个封闭的房间内，火焰的热释放率会因缺少空气而受限。当玻璃破裂，或消防员打开房门内攻时，情况可能变化，额

外涌入的空气意味着热释放速率的提高，火势很可能瞬间变大。

芬兰今年发表了一篇关于火灾压力形成的研究报告。由于建筑密闭性越来越好，这使得着火房间内的压力也比以往更高。火焰使室内温度升高，室内空气受热膨胀。在封闭的房间内，烟这将导致内部压力增加。芬兰的一项实验中，因火灾导致室内空气压力上升，使整个窗户（玻璃和窗框）都被轰出。这可能意味着**火灾特性第三次重大变化**。火灾发展期间，突然出现一个大开口，为火灾提供大量氧气，这再次说明为什么现代火灾形势的恶化速度越来越快。

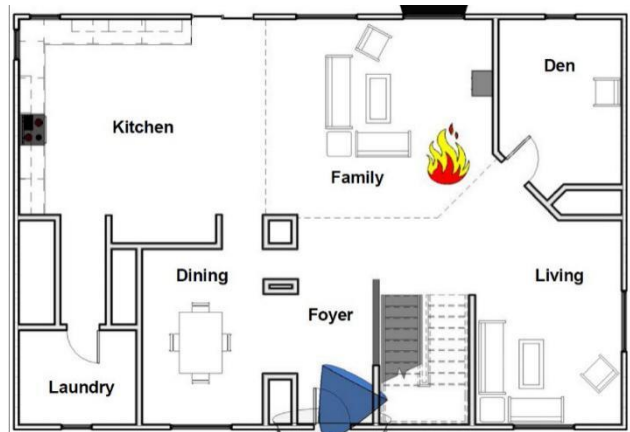
2.2 风驱火

2009 年，美国 NIST（国家标准与技术研究所）发表了第一份针对风驱火的全面研究报告。在一定风力条件下，火灾会表现得非常不规律。这项研究源于几名消防员在扑救高层建筑火灾中牺牲。研究表明，风可以大大增加火的热释放率。从而产生极高的温度，风也会将高热量的火焰推向内攻人员，当有强风直吹进窗户时，玻璃窗可以阻止风对火势的影响，窗口一旦破裂，情况瞬间变化。接着产生风驱火，原本完全可控的情况突然变得不再可控。在美国，每起消防员牺牲的事故都会进行彻底分析（与比利时的做法相反）。过去几年，有多名消防员在普通住宅内风驱火的火灾中丧生。因此，任何地方都有可能发生风驱火。

2.3 新型建筑样式

从建筑结构上讲，也出现了一些重大变化。过去，住房是由各个独立的房间组成的，有一个厨房和一个客厅，有时候，餐厅和客厅也是有着明显的分隔。每个房间都小于 27 m²，高压软管是扑救这类房间火灾的理想装备，图 3 很好地展示出了这种情况。当客厅发生火灾时，如果有足够的空气，它将迅速发生轰燃。接下来，火灾蔓延需要一段时间，火焰受到了墙壁的阻碍，“门”在这就成为了一个关键因素。如果门关着，火势蔓延会被拖延一段时间，但如果门打开，热烟气便流入相邻的房间。在这种情况下，墙壁隔绝火焰的效果就不是很明显了。

在现代建造的住宅和公寓中，总有一个开放式厨房。客厅和厨房相连，形成一个大的独立房间。在许多住宅中，开放空间的面积大于



27 m²。比较图 3 到图 5 时，可以很明显地看出来。

现代住宅中，大的开放式房间非常普遍，这为居民提供了更舒适的生活方式，但单个房间的面积却大大增加。因此，就很难用高压软管将火势控制住。

图 5 现代住宅首层布局。厨房和客厅连接成一个统一的大空间。有一个舒适的休息区（右下）与家庭房相连通。这些全部组成了一个大房间。（图：UL FSRI）

2.4. 总结

经过上面的分析，我们总结了过去几年出现的几个不同问题：

- 火灾发展速度比过去快得多。
- 在通风受限的情况下，产生一个通风口会导致火势突然蔓延加速。
- 开始关注火灾中压力增加的影响
- 风驱火会导致很高的热释放率。
- 越来越多的开放式大空间的平面布局可能会导致更大的火灾。

每个问题都意味着火势可能突然变得更大。在内攻的时候，从门口到可以出水灭火的地方需要几分钟的时间。这段时间，火势可能发生剧烈变化。一场本可以用高压软管顺利处置的火灾，几分钟后可能需要投入更多力量。如果没有足够冷却能力，内攻人员就会处于非常危险的境地。

未来的火灾将比过去的发展更快，上述问题在以前几乎完全不存在，采用高压软管灭火在当时是很好的解决方法。如果在内攻期间火灾没有发生巨大快速的变化，它仍然是现今火灾很好的解决方案。

我们可以用汽车的安全带来做一个比喻，现在每个驾驶员都会系好安全带，因为这会增加人员在车祸中的生还几率。现代火灾用高压软管灭火，就像在高速公路上以 120 公里/小时的速度行驶而不系安全带，很多人在高速公路上开一辈子车都没出过车祸，他们不系安全带也没啥坏处，但是少数人会遭遇惨烈的高速事故，对他们来说，系好安全带对他们的生存至关重要。这同样适用于灭火救援，大部分火灾可以用高压软管进行处置，只有小部分火灾不能以这种方式扑救，但问题是我们事先并不知道发生了怎样的火灾。

今后，消防队会越来越多遇到这种看似不危险的情况，到场后火场看起来用高压软管就能扑灭。但是问题往往在火灾扑救的后期才会出现，可能是上述五种情况之一，也可能是某些尚未发现的问题。我们唯一能确定的是，对于一些火灾，高压软管并不是最安全的选择，我们事先并不知道会发生怎样的火灾。

一个很好的例子就是热释放热率很低的火灾，现场的窗户仍然完好，并且有微弱的风吹向建筑物的侧面。消防员到场后，没有任何迹象表明火灾很严重，一切都表明高压软管的冷却能力高于火焰的热释放率。如果燃烧的房间是关闭的，此评估与现实相符。但如果着火房间的窗户破裂，一切都会改变。突然间，风会为火灾提供大量新鲜空气，热释放率很容易翻倍。但高压软管的流量却不能翻倍。

因此，要时刻关注内攻消防员的安全。一些消防员非常精通如何使用高压软管灭火，可达到非常高的效率，但高压软管却没有安全余量，当你使用的灭火系统达到了能力上限，需要更多冷却能力时，你就无能为力了。

“用高压软管灭火，就像在没有系安全带的情况下，以 120 公里/小时的速度在高速公路上行驶”

3 潜在的解决方案

上文已经描述了消防队目前面临的一些问题，当然也有一些解决方案。这些解决方案需要一定的投入，需要购买或改造装备，同时训练和实践也很重要。这两项工作经常被忽视，如果我们想要实施下面所说的解决方案时，必须要加强初始培训和足够的持续性训练。

3.1 单卷水带

比利时的大部分地区已经在使用单卷水带和折叠水带，他们于 2009 年首次亮相，随后越来越多消防队开始使用。低压水带系统的好处是可以获得更高的流量。使用 45 毫米水带的流量至少是高压软管每分钟 180 升流量的两倍，因此冷却能力也是高压软管的三倍。



图6 在供水系统中的不同部位采用单卷水带和折叠水带。70 毫米水带连接三分水器。图中显示了将折叠水带连接到分水器。在射水时，黄色单卷水带将连接到折叠水带中。（照片：卡雷尔兰伯特）

当高压软管达到极限时，低压水带才仅仅发挥它一半的能力。这种情况下，消防员可以选择使用两倍的水量，所以水带有一个安全余量，这是高压软管所缺乏的。当然，需要认识到水带并不是万能的，水带的冷却能力也限制在在 15 到 20 MW 之间。



图7 折叠放置的 70mm 水带和分水器直接相连，是一项重大的战术改进，可以在不改变水泵的情况下轻松完成连接。（照片：Steve Viaene）

单卷水带和折叠水带的使用，使水带的铺设更容易，但使用 45 毫米水带的机动性仍低于高压软管卷盘，但这两种水带收卷方式的展开速度要快于传统的双卷水带。一个重要的原因是 70 毫米的水带以之字形折叠叠放在车上，水带的一头已连接到三分水器上。到场后，指挥员可以拿着分水器到连接单卷水带或折叠水带的地方，尤其是在建筑内部使用折叠水带时，比拉伸高压软管更快。

因为水枪手将高压软管拉伸的距离越远，摩擦力越大，但折叠水带没有摩擦的问题，而且消防员铺设水带越远，其重量越轻。使用高压软管时，消防员必须使用足够长的软管才能够到达着火点，以免内攻时受阻，拉最后一点长度是最困难的，此时摩擦力最大。在新型的低压水带灭火系统中，在射水点连接单卷水带，直接会多出 20 至 40 米的水带余长，消防员可以很轻松的将水带放在要连接的地方。

3.2 38 mm 水带

可以进一步增强水带的机动性，在比利时，人们选择 45 和 70 毫米两种不同直径的水带。其他国家根据自身实际情况选择不同，英国通常使用 52 毫米，澳大利亚更喜欢 38 毫米的水带出水。

问题是：“我们需要多大直径？”所需的水带直径取决于不同情况：我们需要使用水带

的长度，我们想要达到的流量和所使用的泵。水泵必须能够在足够高的压力下提供所需的流量，以补偿摩擦损失，并使得水枪处的压力保持在水枪手能够承受的范围内，45 毫米水带的流量在每分钟 400 至 500 升之间。

38 毫米的水带也可以达到这种流量，尽管压力损失稍高，但可以通过提高水泵的出水压力进行补偿。我们仍然使用 70 毫米水带铺设起火点和消防车之间的大部分距离，这将减少压力损失。

38 毫米水带的重量只有 45 毫米水带重量的 71%，但流量差不多。由于水带更薄更轻，机动性会更强，这样的水带使用起来与高压软管很像，用 38 毫米的水带，可以实现高压软管的机动性和低压水带的大流量。

2.3 低压卷盘

软管卷盘十分简单易用，特别是针对汽车火灾和垃圾筒火灾。室外火灾和和距离起火点较近的火灾，使用卷盘比铺设水带快得多，即使是使用单卷或折叠水带。我们在寻找更好灭火手段时，不能忽略这个优势。卷盘的最大好处是卷盘上的软管可以很快地沿直线拉伸，这在室外火灾经常用到，特别是距离较短的情况下，卷盘具有很大优势。但是在处理长距离（40 到 80 米）火灾时，摩擦力会产生很大影响。

由于可以在室外火灾快速展开，一些消防队选择在消防车上安装低压卷盘。将 38 毫米的半刚性软管缠绕在卷盘上，与高压卷盘的原理相同，只是直径较大，软管的长度要短得多，在 40 米以内。这在发生汽车火灾时，可以像高压卷盘一样快速展开。由于直径较大，其流量可以达到每分钟 400 升，这种情况下，两种方式的优点结合在一起：高流量和快速展开。



图 8 在水罐车尾部装配的低压软管卷盘（照片：Jean-Claude Vantorre）

四、最后的思考

我们周围的世界正在迅速变化，这些变化经常会产生新的问题，这些问题需要消防部门来解决，这使得消防队非常善于思考解决方案。但由于快速的发展，过去好的方案已不再适合处理未来的问题。

本文说明了为什么高压软管卷盘如此流行，还描述了几种高压低流量给内攻人员带来危险的情况。

未来几年，消防部门将面临灭火方面的新问题。与往常一样，消防部门将针对这些问题，找寻更好的解决方案，这可以是上述系统，但也可能是完全不同的解决方案。重要的是，这些解决方案必须快速，有效，安全。

五、参考文献

[1] Grimwood Paul (2015) A study of 5401 UK building fires 2009-2012 comparing firefighting water deployments against resulting building fire damage, PhD dissertation, Glasgow Caledonian University

[2] Rahul Kallada Janardhan (2016), Fire induced flow in Building Ventilation Systems, Master's thesis, Aalto University, Finland

[3] Madrzykowski Daniel & Kerber Steven (2009), Evaluating firefighting tactics under wind driven conditions, NIST

[4] Lambert Karel (2010) Wind Driven Fires, De brandweerman

[5] Jean-Claude Vantorre, innovator at the fire service, personal communication, 2009-2016