

对消防高压卷盘的一些思考

翻译：橙色救援微信公众号

一、引言

15 年前，当我加入消防队时，有人就给我介绍了两种不同的灭火方式：由水带组成的低压灭火方式和由高压软管卷盘组成的高压灭火方式。

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，流量可以达到每分钟 180 升。

城市灭火救援过程中，非常流行采用高压软管卷盘进行灭火。在布鲁塞尔，估计有 90% 的火灾是采用一条或多条高压软管扑灭的。

另一个灭火方式是低压水带灭火，在这种灭火方式中，通常是水带双卷立放。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甩出，再进行水带连接。可以用分水器把 45mm 水带和 70mm 水带连接起来，形成出水管路。低压出水管路的流量不稳定，且在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，低压灭火方式发生了重大变化：即使用单卷水带，这也称为“克利夫兰卷”或者“环装式”，还有一种方法是将水带一层层叠好后放置即层叠式水带。

但是，实际上这个新方法的引入受到了极大的抵制。许多喜欢高压卷盘的人认为高压软管卷盘可以很好地完成火灾扑救工作，不明白为什么必须改变这种灭火的方式。

在这篇文章中，我主要谈了关于我们正在使用的几种灭火方式的看法，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：

“我们是否希望一直使用现有的、没有问题的灭火系统，还是为未来的扑救行动做准备，

建立一个更好的灭火系统？”

1. 为什么用高压卷盘灭火这么流行？

以下是一些原因：

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。

使用时，在消防员到达着火点的同时，司机马上可以开水，出水灭火的速度可以变得很快，这使得它非常适用于室外火灾的扑救。

在室外火灾扑救中，高压软管可以从消防车一直拉到火灾现场。同时它还有很强的机动性，仅需要一名消防员就可以利用高压卷盘扑救小型室内火灾。

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，高压软管卷盘是在建筑物内快速展开的最好方法。

假如火灾发生在某建筑内的三层，利用高压软管卷盘要比铺设水带快的多。但单卷式和层叠式水带的出现，对高压软管卷盘的优势形成了直接的挑战。

在特定的情况下，通过采用精心设计的方法和充足的训练，铺设水带进行灭火的速度要快于利用高压软管卷盘。

高压软管卷盘在使用后很容易收整，只需要把软管回卷到卷盘上，不需要占用到太多的资源。但水带在使用过后，还得重新圈起来放回车里带回消防队，在归队后，用过的水带需要刷洗晒干之后才能再次使用。

所以，从后勤角度来说，高压软管卷盘的使用要方便很多。

2. 冷却能力

高压软管卷盘，每分钟流量约为 180 升。在其他国家，消防员使用的高压软管卷盘内径为 19mm，而这种软管卷盘的流量只有 100 升每分钟。

每分钟 180 升的流量意味着每秒钟有 3 升水从喷嘴射出，我们假定每升水吸收 3 MJ 的热量，180 升/分钟的流量则当于 9 MW 的理论制冷却能力。

当然，这样的冷却能力是在一定的前提条件下得出的，假设从喷嘴喷射出的水流恒为 20°C，喷出后全部转化为 300°C 的水蒸气。



图 2 在汽车火灾中运用高压软管卷盘

(拍摄: Pierre-Henri Demevere)

事实上，情况并非总是如此，在达到 300℃之前，蒸汽可能会从火场中逸出。对于冷却能力影响最大的，在于水蒸发成水蒸汽的过程中，水是无法吸收到足够热量的。

以液态流出的水只能吸收每升 3 MJ 能量的 11%，因此，在实际的火场中，冷却能力要远小于 9MW。

那么问题就来了：水枪手的能力如何？

这个问题对高压和低压两种方式都有影响，影响到效率。这个问题很难回答，人们已经对该领域进行了大量研究，灭火效率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。

更进一步说，高压软管卷盘往往配备有更高效率的高压水枪，这也是为什么高压软管卷盘如此流行的原因。在高压软管卷盘刚出现时，低压灭火方式还仍是配备着单一的老式的标准水枪。



图3 具有典型性的房间部局，有许多独立的房间，每个房间的表面面积是有限的。（图：UL FSRI）

对的是阴燃火灾，情况就恰恰相反了。

假设消防员在扑救猛烈燃烧的室内火灾时，灭火效率为 75%，采用高压软管卷盘灭火可以吸收 6.75MW 的热释放速率，这等于燃烧表面面积为 27 平方米的空间，燃烧释放的热（250MW/m²）。图 3 中的厨房（Kitchen）面积为 22 m²，右下方的主卧室（M.Bedroom）面积为 15 m²。

“燃烧表面面积”是指房间的地面面积的大小。在常规的房间内，都有很多空旷的地方，房子内部的通道。图 3 清楚地显示出了这个房子的空间。在典型的带家具的房间内，发生火灾时的平均热释放速率大约为 250 kW / m²。

假设 27 平方米的房间内堆满了床垫，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，热释放速率甚至能达到 1MW/m²。

这些老旧的“标准化”水枪的射流形态并不是很好。而新型的高压水枪的使用，使得我们可以更为精确的控制射流的形态，这大大提高了灭火效率，也正因为如此使得消防员可以使用高压小流量进行灭火，而不需要用低压大流量。

灭火效率的高低和消防员面对的火灾实际情况是相关的，当扑救一个充分燃烧的火灾时，灭火效率会更高，但是假如面对的是阴燃火灾，情况就恰恰相反了。

通过上面叙述，就不难理解为什么大家都喜欢用高压软管卷盘扑救火灾了。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，这意味着采用高压软管卷盘是扑救小型住宅火灾，是一种非常好的方式。

Paul Grimwood 对灭火救援过程中的射流流量，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。他对城市火灾以及发生在城乡结合处的火灾，都进行了详细深入的研究。

这些研究，使他得出了关于仅用高压软管卷盘灭火的一些总结。郊区火灾的平均燃烧面积为 7.72 m²，城市火灾为 11.14 m²。

需要特别注意的是，在这些情况下，使用高压软管卷盘，每分钟的流量只有 100L，如果灭火效率相同，相当于在比利时的燃烧面积在 14 至 20 m² 之间（前文有说比利时流量是 180L）。

所以，高压软管卷盘主要用于较小的火灾。对于这些火灾，如果操作正常的话，高压卷盘是一个很好的灭火装备。

二、潜在的问题

过去几年里，对于如何提高消防员用水效率，大家已经付出了很多努力：用更少的水获得更好的效果。这也在无形中，提高了高压卷盘的使用率。但是，为什么又有越来越多的人提倡使用水带？上述推理是否有缺失？

以上的推理主要基于过去的经验，人们常常喜欢以现在的条件和方法，去寻找过去问题的解决方案，并把这当做很好的解决办法。

高压软管卷盘对于过去的火灾来说是很好用的，但对未来的火灾，是否也好用呢？

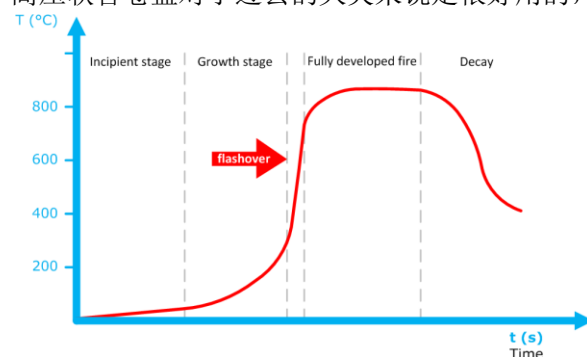


图4 通风控制型火灾发展趋势图。火灾发展的第一个重大变化是指前两个阶段：初期阶段和成长阶段。1950 年，这两个阶段共需大约半个小时。现在他们只需要两到四分钟。（图：Bart Noyens）

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，人们发明出了合成材料，该材料的大量使用，导致火灾发展蔓延的速度更快。

1950 年，从起火到发生轰燃，需要半个小时；而现在，只需要两到四分钟。通常人们听

到这个的第一反应是：“消防员在达到火场之前，就已经发生轰燃了么？”当然，事实确实如此。

但提这个问题的人，忽略了通风控制型火场的模型是指单个房间。厨房里充分发展起来的火灾，最终会蔓延至客厅和别的区域。两到四分钟后，这些地方也会发生轰燃。

在这种情况下，消防员可能已经到达现场。消防员可能正顶着灼热的烟气层，爬行穿过卧室，往厨房着火点方向前进。

而在这时，由于燃烧的速度大大超过预期，将出现极端火灾现象，如：轰燃，而这将导致消防员陷入危险。所以，这就是过去和现在火灾特性的差别。

导致室内火灾特性发生变化的第二个原因是：使用大量双层玻璃，同时建筑向隔热型转变。

如果一个房间是完全封闭的，那么很难有足够的空气发生轰燃。通常情况下，单层玻璃在高温的环境下会很快爆裂，但是双层玻璃不会发生这样的情况，这时就出现了通风受限型火灾。

在一个封闭的房间内，火焰的热释放速率因为空气的短缺而受限，但这样的情况会因为玻璃的破裂，或消防员打开房门内攻而发生变化，额外涌入的空气意味着热释放速率的提高，这种情况下，火势很容易在瞬间变大。

芬兰今年发布了一篇关于火灾压力形成的研究报告：随着建筑施工水准的提高，建筑密封性能越来越好，这使得着火房间内的压力变得比以往更高。

火灾发生时，随着燃烧时间越来越久，室内温度随之升高，灼热的空气试图往别的地方扩散。在相对封闭的房间内，烟雾和灼热的空气无法扩散，这将导致房间内部压力增加。

芬兰的一项实验证实了，因火灾导致的室内空气压力上升，可使整个窗户（玻璃和窗框）被轰出，这可能意味着火灾特性发生了第三次重大变化。火灾发展期间，可能会突然出现一个大开口，为火势提供大量氧气。

这再一次说明了，现代建筑火灾形势的恶化速度越来越快。

2. 风驱火

2009年，美国 NIST 机构发布了第一个针对风驱火的全面研究：在某些风力条件下，火灾可能表现得非常不规律。这项研究起源于：消防员在扑救高层建筑火灾中发生的多起事故。

研究表明，风可以大大增加火的放热率，从而产生非常高的温度。风也可以将火焰推向消防人员，当有强风直吹窗户时，关闭的玻璃窗可以防止风对火势的影响，但是，一旦窗口

破裂，情况瞬间将发生变化，接着产生风驱火，原本一个完全可控的情况突然变得失控。

在美国，每个涉及消防员的死亡事故，都会进行彻底分析（与比利时的做法恰恰相反）。过去几年，有几位消防员在普通建筑内风驱火的火灾中丧生。

因此，任何建筑物都有可能发生风驱火现象。

3. 新型的建筑样式

从建筑结构上讲，近年来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。由于每间客房都小于 27 m^2 ，高压卷盘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，这时，“门”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，热烟便可以流入相邻的房间。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，该开放空间的面积大于 27 m^2 。比较图 3 到图 5 时，可以很明显地看出来。

现代住宅中，大型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，就很难用高压卷盘对火势进行控制住。

4. 总结

经过上面的分析，我们总结了过去几年出现了几个不同的问题：

- 火灾发展速度比过去快得多。
- 在通风受限的情况下，突然产生的通风口会导致火势蔓延加速。
- 开始关注有关火灾压力对火势扑救造成的影响
- 风驱火会导致很高的放热率。

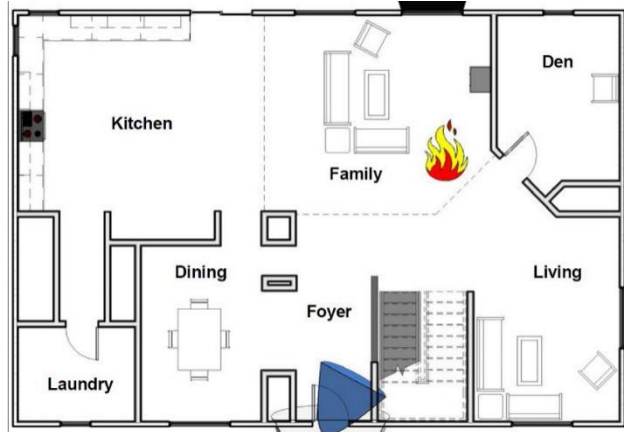


图 5 现代典型住宅一层布局。厨房和客厅被连接成一个统一的空间。有一个舒适的休息区（右下）与家庭房相连通。这些全部创建组成了一个房间。（图：UL FSRI）

- 开放式大空间的室内结构布局可能会导致更大的火灾。

针对以上这些问题，其中的每一个问题都意味着火势可能变得更大，更难以控制。在内攻的时候，从门口到可以出水灭火的地方，可能需要几分钟的时间。

这段时间，火势可能已经发生了剧烈变化。一场本可以用高压卷盘顺利处置的火灾，几分钟后可能需要投入更多力量。如果内攻人员无法没有足够冷却能力的话，他们就会处于非常危险的境地。

未来的火灾将比过去发展的更快。上述的问题，在以前完全不存在。采用高压卷盘灭火，在那时是很好的方法。如果在内攻期间火灾没有产生太大的变化，它仍然会是一个很好的火灾扑救方法。

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生存的可能性。现代火灾，用高压卷盘灭火，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。

有人就会在不系安全带情况下，在高速公路上高速行驶，他们可能也并不会因此而遭遇事故。但是对于少数人来说，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。

这同样适用于消防工作，大部分小火可以用高压卷盘进行处置。只有小部分火灾，不能以这种方式扑救，但这当中的问题是，我们事先并不知道发生了怎样的火灾。

未来消防队，遇到的情况会越来越多，越来越复杂，可能到场后火场看起来情况并不坏，经火情侦察，发现初始火灾可以使用高压卷盘扑救，是能用这种方式进行扑救的火灾之一。

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，对于一些火灾来说，高压卷盘并不是最安全的选择，因为，我们在抵达火场前并不知道那是怎么样的火灾。

一个很好的例子就是放热速率很低的火灾，现场的窗户仍然完好，并且有微弱的风吹向建筑物的侧面。消防员抵达火场后，通过侦察发现现场火势不会变的严重，完全可以用高压卷盘灭火，因为高压卷盘的冷却能力高于燃烧的产热速率。

如果燃烧的房间是关闭的，此评估与现实相符。但如果房间的窗户发生破裂，所有这些情况都会发生改变。突然间，风会为大火提供大量新鲜空气，放热速率很容易加倍。然而，高压卷盘的最大流量却不能加倍。

因此，消防员执行内攻任务时，他们的安全非常令人担忧。一些消防员非常精通如何使用高压卷盘灭火，可达到非常高的效率，但高压卷盘却没有安全余量。当你灭火时，设施达

到了灭火能力极限，当你需要更多冷却能力时，你却没有任何办法。

“用高压卷盘来扑救火灾，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”

三、潜在的解决方案

在上面的部分中，已经描述了消防队目前面临的一些问题。当然，也有解决方案。这些解决方案需要一定的投入，即将现有的工具改造或者购买新装备。同时，跟上相关的培训。

通常我们会忽视这两项工作，在我们实施下面所说的改进方法时，必须要加强初期培训和之后的复训。

1. 单卷式水带



图 6 在供水系统中的不同部位分别采用单卷式水带和层叠水带。70 毫米水带连接到三分水器。图中显示了将折叠水带连接到分水器。在灭火点时，黄色单卷式水带将连接到层叠水带中。（照片：卡雷尔兰伯特）

单卷式水带和层叠式水带已经在比利时的大部分地区使用，他们于 2009 年首次亮相，随后越来越多消防队开始使用。

水带灭火的好处是即便有更高的流量需求，也可以满足要求。使用 45 毫米水带所产生的流量至少是高压卷盘每分钟 180 升流量的两倍，因此冷却能力也是高压卷盘的两倍。

当高压卷盘达到极限时，水带才仅仅使用它一半的供水能力。这种情况下，消防员可以选择使用两倍的水量。所以，有一个安全余量的水带，可以弥补高压卷盘的不足。

当然，需要认识到水带并不能解决所有问题。即使水带的冷却能力能达到在 15 到 20 MW，但也是有限的。



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）

单卷式盘和层叠式水带的使用，为水带的铺设提供了方便，但使用 45 毫米水带，其便捷性仍低于高压软管卷盘，这种情况下，这两种方法的展开速度要快于传统的双卷式水带。

一个重要的原因是 70 毫米的水带以之字形一层层叠好放在车上，水带的一头已连接到三通分水器上，当场后，可以拿着分水器快速到达指定地点。

这种水带铺设方法，使得在复杂建筑结构内使用层叠水带，拉伸的速度要比高压卷盘更快。

高压卷盘在使用时，随着拉伸的距离增长，摩擦力将增加，而铺设层叠水带却没有摩擦力的问题。相反的，随着水带重量减轻，消防员更容易进行移动。

使用高压卷盘时，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，拉最后一点长度将最困难，此时摩擦力最大。

水带铺设时，在进攻阵地对单卷水带进行连接，这样便增加了 20 至 40 米的水带余长，消防员只要在连接处放下水带即可。

2. 38 mm 水带

可以进一步增强水带铺设的机动性，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，根据实际情况做出了不同的选择。英国通常使用 52 毫米，澳大利亚更喜欢 38 毫米的水带作为出枪水带。

问题是：“我们需要哪种直径的水带？”所需的水带直径，取决于不同的情况：我们需要水带达到的长度，我们想要达到的流量和所使用的泵的功率。

水泵必须能够在足够高的压力下，提供所需的流量，以补偿水头损失，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 毫米的带也可以达到这种流量。尽管水头损失稍高，但可以通过提高水泵的压力，进行补偿。如果起火点和消防车的距离较远，我们可以采用 70 毫米水带来减少水头损失。38 毫米水带的重量只有 45 毫米水带重量的 71%，但能提供与 45 毫米水带差不多的流量。

由于水带更薄更轻，因此机动性会更强。这样的水带，使用起来与高压卷盘很像，用 38 毫米的水带，可以实现高压卷盘的灵活性和大口径水带的流量。

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。在户外火灾和短距离的情况下，即使使用单卷或层叠水带，卷盘也比铺设水带快得多。我们在寻找更好的火灾扑救手段时，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，这通常对室外火灾有很大的影响，特别是在短距离内，卷盘具有很大优势，但是在处理长距离（40 到 80 米）火灾时，摩擦力开始产生影响。



图 8 在水罐车尾部装配的低压软管卷

由于室外火灾需要快速铺设水带，一些消防队选择把低压卷盘安装在消防车中。它将 38 毫米的半刚性软管安装在卷盘上，与高压卷盘的原理相同，只是直径较大。由于软管的长度要短得多，控制在 40 米以内。

这样，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，其最大流量可以达到每分钟 400 升，这种情况下，两种方式产生了最佳结合：高流量和快速展开。

四、最后的思考

我们的世界正在迅速改变，这些变化经常会产生新问题，这就要求我们消防工作要走出去并解决问题，过去的良好方案，可能已不再适合处理未来的问题。

本文说明了为什么高压卷盘如此流行，还描述了几种高压卷盘的低流量，可能会给内攻人员带来的危险。

未来，消防队将在灭火方面，面临新的问题。与往常一样，消防队将针对这些问题，找寻更好的解决方案。

这可以是上述的一个或多个方面，甚至，它们可能是完全不同的解决方案。重要的是，这些解决方案只要快速，有效，安全即可。

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

Karel Lambert