

火灾中射水灭火效率的科学探讨

Scientific Exploration on the Efficiency of Fire Extinguish of Waterspout in the Fire

姬永兴

(空军第一研究所, 高级工程师 北京 100076)

水是最廉价的灭火剂, 它在设施完善的现代化城市中随处可取, 安全方便。水是对环境没有任何化学污染的物质, 用水灭火后无需进行二次性污染治理。因此, 水仍然是未来城市消防中最主要的灭火剂。

水也可以用来扑灭油火, 1991 年科威特 720 口油井大火主要是靠水来扑灭的。中国灭火队扑灭的其中 10 口油井的大火, 则完全是靠射水来扑灭的。

自 1841 年美国的波尔·霍奇试制出第一台全蒸汽泵浦消防车以来, 此后的 150 多年间, 射水灭火仍然是世界各国的主要灭火手段。在世界进入 2000 年的时候, 射水消防车仍占全部消防车的 90% 以上, 而干粉等化学消防车只占总量的不到 10%。

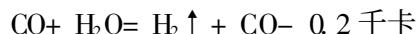
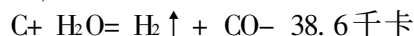
一、“水灭火”中的科学问题

人们早已注意到: 大量使用直流水来灭火时, 往往会带来许多问题。用于灭火的 90% 以上的直流水在灭火时流淌了, 对灭火真正起作用的只占其中的很小一部分; 密集水的流淌、浸泡还会造成水渍损失等次生灾害, 有时, 水渍造成的损失竟相当或超过了火灾的损失; 在人员密集、逃逸通道不畅的火灾现场, 直流水的控火、冷却、驱烟能力也均有限, 许多受害者就是吸入有害气体窒息致死的。在大型飞机、客车、剧院、舞厅、宾馆、宿舍楼房等场所失火时, 使用直流射水控火、救人的效果均不甚佳; 用直流水扑灭油火时, 易加速燃油的流淌, 增大控火难度; 直流水也不宜用于扑灭电气火灾、计算机网站火灾; 在水源紧缺的区域, 供消防车使用的大流量直流水的供给保障也十分困难。

克服上述问题的关键技术在于: 提高水的灭火效率。

人们发现, 在用机械动力射水灭火的 150 多年来的实践中, 水的灭火潜力并未得到充分发掘: 1 升水在火焰中汽化时可吸收 539 千卡的热量, 比直流水吸热作用高出一个数量级, 可迫使火焰迅速降

温; 同时, 1 升水在火焰中汽化时可生成 1 700 升 (100℃) 水蒸汽, 可促使火焰及其周围空气中的氧得以大幅度稀释, 进而迫使火焰窒息。在一般情况下, 当空气中含有 35% 体积的水蒸汽时, 燃烧就会停止; 水在炽然的含碳可燃物火焰中还会发生下列化学反应, 并吸收大量的热。



在上述反应过程中, 两个摩尔的水, 可以吸收 162.3 千焦的热量, 迫使火焰继续降温。因此, 一旦雾状水参与了大火的燃烧过程, 即可降低火焰的燃烧化学反应速率, 减小火焰的热传播速度, 从而大幅度地提高水的灭火效率。

由上可见, 提高水的灭火效率的主要途径, 在于大幅度地提高水在火焰中的汽化率。其方法是喷射雾状水灭火, 或喷射有水成膜添加剂的泡沫状水灭火, 使同等重量的水形成更大的表面积, 在火焰中迅速吸热蒸发。

因此, 在城市消防工作中, 使用大流量高强度的能够射入火焰中心区的雾状水, 或泡沫状的水, 能够大幅度提高水的灭火效率, 并同时在很大程度上克服了直流水灭火时存在的诸多缺点。

二、多大粒度的雾状水灭火效率最高?

将 1 升水分割为直径为 1 毫米粒度的雾状水时, 其表面积将增大到 6 平方米; 分割为直径为 0.1 毫米粒度的雾状水时, 其表面积将增大到 60 平方米。从表面上看, 似乎水的粒度越小, 其在火焰中的吸收热量的能力越强, 汽化速度越快, 能更好地参与影响火焰的燃烧过程, 取得很好的灭火效果。但是, 实际情况不完全如此。

水滴在火焰中的运动轨迹决定着雾状水的灭火效率。射入火焰中的水滴由于迅速吸热蒸发, 故随运动距离增加其粒径将迅速缩小。因此, 水滴在火焰中的穿行距离不长, “生命”很短暂。在强烈的

热对流作用下,沿水平方向射入火焰中的较小粒径的水滴,在强烈的上升气流作用下会被迫改为向上运动并很快消逝。只有较大粒径的水滴才会有—定的水平穿行距离,这些水滴在其粒径迅速减小时,也将被上升气流带动而最终消逝在火焰的上升气流中(封底图1)。

实验室内的灭火检测证实,当水滴的粒径在1~10微米时,其灭火效率很低。因为细小的雾状水滴的动能小、传热系数大、吸热能力强、汽化时间短,在细小水滴尚未进入火焰内部时已经汽化消逝了,它很难影响火焰的燃烧过程。粒度太大的水滴,虽然其动能增大,使其穿入火焰中的行程增大,但其表面积率小、汽化速度慢,在进入火区时在其重力作用下容易跌落地面,因而影响火焰燃烧过程的能力也降低了。只有粒度适宜的雾状水的灭火效率最高。

究竟多大粒度的水滴的灭火效率最高?这是个有争议的问题。在实验室内进行的雾状水的灭火试验,可以精确地测定水雾的粒径、喷流强度、灭火时间等。但是,实验室中用以形成燃烧火焰的油盘口径太小(有的只有20厘米),形不成大规模的火焰、强烈的热辐射和热对流。在这种条件下用较小粒径的雾状水就可以穿入火焰将其扑灭,而较大粒径的水滴则往往穿过火而不能完全蒸发。由于实验条件不一致,对灭火效率最高的水滴的粒径测取值也就不一致。这一点反映在各类消防书籍中,即是对水滴最佳灭火粒径的表述相差较大。

80平方米的油池火有很强烈的热对流和热辐射作用。封底图2~5显示的是雾状水对80平方米油池火的灭火过程,图中显示了高强度的雾状水有很好的控火能力。这种雾状水是由涡喷发动机的强力尾气流切割直流水而形成的,其粒径以1~1.2毫米为主,并由强气流将雾状水带入火区,整个灭火过程只用了9秒钟。用同样的方法在上海金山石化总公司的灭火演习中,单台涡喷消防车以雾状水(加入3%的清水泡沫剂)扑灭520平方米的特大型油池火,也只用了77秒钟。

综上所述,在大火强烈的热辐射和热对流条件下,以粒度较大(水滴直径为1~1.2毫米)的高强度雾状水灭火,可以取得很高的灭火效率。但是,对于不同燃烧强度的大火,究竟多大粒度的雾状水的灭火效率最高?至今没有共识的权威数据,这仍是一个值得继续通过试验研究确定的问题。

三、从什么角度喷射,雾状水的灭火威力最大?

雾状水灭火有多种喷射方式。在一些固定灭火系统中多采用洒水喷头和喷雾喷头,自上而下地喷

射水雾来扑灭固定设施内的失火。英国一家公司发明了供民航客机用的客舱水雾喷洒装置,在波音737飞机客舱内使用时,以59.1升/分的水雾喷流量,可使失火飞机上的乘客获得3分钟左右的应急离机时间。自上而下的水雾喷洒系统对于初期火灾和小规模火灾具有很好的控火、灭火、消烟、降温作用。

大火中的空气对流十分强烈,有时会发出震耳的呼啸声,而且自上而下喷射的水雾会被强烈上升的高温气流携带,无法进入火焰的中心区,水滴也很快汽化消逝,对火焰的燃烧过程几乎不发生影响。据涡喷消防车多次扑灭油池火的演示实验,当雾状水沿水平方向向火焰的中部喷射时,可以迅速将火焰切断、使火区缩小,显示出有很好的控火能力,但油面上的余火却难扑灭;当雾状水沿水平方向向油面喷射时,火区迅速缩小,灭火时间很短。据扑灭80平方米的油池火试验,涡喷消防车以同样的水雾喷流强度灭火,灭火时间在9秒(沿水平方向向油面喷射)至25秒(沿水平方向,喷射位置较高)之间。从中可以看出,即使是以水平方向喷射,在同样的水雾喷射强度下,水雾的灭火效率仍有差异。大火伴生强烈的空气对流现象,周围有大量空气沿水平方向向火焰中心区内流动补充,因此,沿水平方向贴近油面喷射雾状水,使雾状水进入油面上燃油蒸汽与空气混合的湍流区,水雾直接参与和影响火焰中心区的燃烧过程,可迫使火焰中心区迅速冷却、燃烧化学反应的速率降低,充分发挥雾状水的灭火威力。

四、雾状水以多大的喷流强度灭火最有效?

水雾的喷流强度是指在单位面积上、单位时间内雾状水的射入量,通常以升/平方米·分钟为计量单位。当水雾的喷流强度太低时,对火焰燃烧的化学反应过程阻滞不大,无力控制火势和迅速扑灭大火。因此,雾状水的喷流强度应符合雾状水灭火时耗水的最低标准。用最佳粒度的雾状水灭火时的最低耗水标准是多少?德国的《灭火剂》一书指出:“水滴直径为0.4~0.6毫米,供水强度为20~40升/平方米·分钟,灭火是最有效的”。《现代灭火设施》一书(朱吕通、贺占奎编,1984年出版)指出:雾状水的供给强度不应小于10升/平方米·分钟。美国消防协会提出的标准是:控制飞机火势需5升/平方米·分钟的水雾喷射强度。我们认为,美国消防协会提出的雾状水的最低耗水标准在水雾粒度适宜的条件下是比较符合实际的。涡喷消防车扑灭520平方米的油池火,耗水2.9吨(含3%的清水泡沫灭火剂),历时77秒,其耗水率为5.5升/平方米

• 分钟, 与美国消防协会提出的控制火势的标准很接近。但是, 应当强调说明, 这是一个灭火的最低耗水标准。当雾状水的喷流强度高于这一标准时, 能够更为迅速地扑灭火灾。低于这一标准时, 虽然有可能控制火势, 但无法将火扑灭。一切使用雾状水灭火的装置, 在组织灭火战术时, 都必须使雾状水的喷射强度高于最低耗水标准。

五、怎样实现粒度适宜的大流量的雾状水的高强度、远距离的喷射?

雾状水滴的表面积率大、动能小, 在空气中运动时的阻力大、喷射不远, 是其突出缺点。一支流量为 6.8 升/秒的双级离心式喷雾水枪, 其雾状水的最远喷射距离只有 11 米。这是雾状水长期以来在扑灭大火时未能得到广泛使用的主要原因。

必须找到一种能携带雾状水高速流动的载体, 籍以实现雾状水的大流量、高强度、远距离的喷射, 使雾状水灭火具有更加广泛的使用前景, 成为城市中扑灭油、气大火的最重要的灭火手段。

涡喷发动机的高速尾气流适合于承担这一任务。涡喷发动机的尾气流具有巨大的能量, 发动机喷口的尾气喷射速度达 500~600 米/秒, 尾气的流量达 40~50 千克/秒, 连续工作时间可达 1~2 小时。只需在涡喷发动机的尾喷口后设计、安装一个能量交换器, 将大流量的直流水以斜切方向射入换能器内的高速气流中, 直流水就会被高速尾气切割、碰撞并获取动能, 成为在尾气流中均匀分布并被高速尾气流携带的大流量的雾状水, 以较小的扩散角喷向火场(封底图 6)。

以涡喷 5 发动机为例, 其尾气的流速可达 550 米/秒, 流量为 48.2 千克/秒, 向换能器中注入 40 升/秒的直流水时, 获能后的雾状水的粒度以 1~1.2 毫米为主, 雾状水的瞬时覆盖面积达 200 平方米, 喷流强度为 8~12 升/平方米·分钟, 在有效喷流强度内的最远喷射距离为 65 米。按照涡喷 5 发动机的功率, 在供水量充足时, 其尾气可携带 150~200 升/秒的雾状水进行灭火。

被雾状水扑灭的油火很容易复燃, 为增强灭火效果, 阻止油火复燃, 通常在涡喷消防车注入换能器的直流水中添加 3% 的清水泡沫灭火剂, 直流水被高速气流切割、碰撞后形成粒径为 2 毫米左右的大流量泡沫珠, 高速气流携带这些泡沫珠喷入火区, 就能够起到极好的控火、灭火作用。未蒸发的泡

沫珠均匀地坠落在油面上, 瞬时形成约 200 平方米的泡沫层, 能极好地起到阻止油火复燃的作用。

涡喷发动机是空军退役装备, 其可靠性高、体积小、重量轻、功率大、价格便宜, 易于维护, 型号多、可选余地大, 是一种可供重新开发利用的重要物质资源。由涡喷发动机改装的涡喷消防车(已获国家发明奖), 其扑灭油、气大火的性能高出美国 T-6、T-12 消防车的 3~4 倍, 而价格仅为其 1/3, 现已用于机场、油库消防。

涡喷消防车应用成功的示范作用在于: 利用有巨大能量的强气流携带雾状水灭火, 可以克服雾状水喷射不远的突出缺点, 获得粒度适宜的大流量、高喷流强度的雾状水(或泡沫状的水), 有极好的灭火效果和极广阔的应用前景。

六、结束语

大流量、高强度的雾状水(或泡沫珠状态的水)在迅速控制火势, 扑灭油、气大火和喷溢式火灾、电气火灾, 防止粉尘爆炸, 以及用于火场阻隔热辐射和冷却降温、抢救生命等方面有其突出优点, 已受到国内外消防界广泛重视。许多外国公司正在组织研究水雾灭火技术, 一些研究成果已转化为产品。有代表性的产品如美国大力公司研制的“压缩空气泡沫系统”, 英国塞夫公司研制的飞机客舱内的喷雾灭火系统, 瑞典人费朗茨·斯托尔发明的肩背式压缩空气喷射水雾灭火器, 挪威的为海上油田设计的海水加压喷雾灭火系统, 法国的“宙斯”水炮远射距水雾灭火车, 德国的利用装水长塑料管爆炸形成雾状“水云”的森林灭火装置等, 目的都在于运用雾状水灭火效率高的突出优点, 创造出适合于不同场合使用的雾状水灭火装置, 拓展雾状水灭火的应用范围。由于雾状水灭火效率高、成本低、无二次污染, 适合于扑救油、气大火, 也适合于在迅速控制火势和抢救生命的场合使用, 因此它在城市消防中有很高的实用价值和广阔的应用前景。随着城市现代化建设的发展, 用传统的直流水扑救电气火灾、计算机网站火灾、管道可燃气体泄漏火灾等越来越不合算, 而雾状水这一高效灭火剂的应用范围将日益扩大, 预期不久的将来会有越来越多的雾状水喷射装置加入消防器材的行列, 发挥其优越的灭火效能, 有关雾状水灭火的最佳粒径等技术问题也将很快获得解决。

(责任编辑 蔡德诚)

(上接第 34 页)

是职业教育事业, 有较好的参考价值。

参考文献

[1] 王琴妹, 潘再平. 澳大利亚的高等教育. 浙江大学教育研究, 1998(2): 15-18

[2] 高培. 澳大利亚高等职业学校的设置与管理. 中国高等教育, 1999(22): 30-32

[3] 李建求. 高职教育在发展高新技术产业中的作用与对策. 科技导报, 1999(11): 21-24

(责任编辑 王宏章)

射水灭火效率的探讨

(见姬永兴文)



涡喷消防车



80平方米油池火点燃后，火焰高达20米



涡喷消防车驶近火场，此时尚未喷射雾状水灭火剂



喷射9秒钟后，大火被完全控制住



浓烟尚未散尽，大火已完全熄灭