

# 舰船细水雾灭火系统研究回顾

陆强, 廖光焯, 黄鑫, 宛田宾

(中国科学技术大学火灾科学国家重点实验室, 合肥 230027)

**[摘要]** 近十多年来, 国际安全领域对细水雾灭火技术的研究方兴未艾, 以美英等国海军为代表的西方各国海军对细水雾在舰船尤其是舰船动力机舱的应用进行了大量研究, 结果令人振奋。对该领域的研究作了简单的回顾, 旨在使国内安全领域的工作者对此有所了解, 为我国海军在这方面的研究提供些许借鉴。

**[关键词]** 细水雾; 油池火; 射流火

**[中图分类号]** P7 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1009-1742(2004)09-0088-07

## 1 前言

现代舰船技术的发展对船上动力机舱、卧舱、兵器间等重要区域的火灾防治提出了更高的要求。以往各国舰船多采用卤代烷(哈龙1301等)、二氧化碳等气体介质作为常用灭火剂。然而由于卤代烷对大气臭氧层的破坏, 联合国的加拿大蒙特利尔公约(1987年)明确要求各国在21世纪初取代卤代烷系列。而二氧化碳以及其它气体灭火剂则由于毒性和对周围环境的影响, 应用也受到了很大限制。

细水雾灭火作为卤代烷系列的主要替代技术之一, 具有高效、稳定、成本低、易于得到并对环境友好等特点。它与气体灭火剂相比, 能迅速降低室内温度和燃烧产物浓度, 因而在施加细水雾后, 消防人员或操作人员可以安全地直接进入失火区域; 与传统的水喷淋灭火系统相比, 细水雾灭火系统由于具备用水量少、载荷小、对B类火灾灭火效果好的优势, 因而尤其适合于在舰船上使用。各国海军舰艇的动力机舱以往多采用哈龙1211、哈龙1301等灭火剂进行防火保护, 蒙特利尔公约的签订促进了对卤代烷替代物的研究, 不约而同地选择了细水雾灭火系统作为未来舰船动力机舱的防火保

护。与之相比我国海军在细水雾灭火技术方面的研究则稍显滞后。作者对美英等国海军近年来对细水雾灭火技术的研究作一个简要回顾, 以供借鉴。

## 2 美国海军实验室

### 2.1 最初的研究(1978—1980)

美国海军实验室对细水雾灭火系统的研究是从20世纪70年代末开始的<sup>[1,2]</sup>。1978年发表的2篇文献介绍了所谓“临界雾滴粒径”的概念, 即需要多小的粒径方可通过气相冷却来达到灭火目的。其后的2年里 David Taylor 舰船研究中心对于在潜水艇内采用细水雾灭火系统进行防火保护做了大量实验研究与理论计算<sup>[3]</sup>。细水雾由商用撞击式针形喷头产生, 喷头工作压力为1.7~2.7 MPa, 其产生的雾滴粒径范围在80~100 μm之间。实验在一个模拟潜水艇的动力机舱和鱼雷舱的空间内进行, 模拟的火灾场景为可燃液体油池火, 实验取得了一定的成功。虽然美国海军从未将此计划在潜水艇上付诸实施, 不过该项目证明了细水雾的灭火与快速冷却能力。

### 2.2 小尺度实验(1990—1994)

20世纪80年代, 哈龙1301在舰船上的广泛

**[收稿日期]** 2004-03-03

**[基金项目]** 国家重点基础研究发展规划资助项目(2001CB409609)

**[作者简介]** 陆强(1971-), 男, 广东中山人, 中国科学技术大学火灾科学国家重点实验室博士研究生

应用使得海军对细水雾灭火系统的研究暂时失去了兴趣，然而自从90年代人们逐步认识到卤代烷系列灭火剂对大气臭氧层的破坏以及其后蒙特利尔公约的签订，海军又重新开始了对细水雾作为卤代烷替代物的研究，并制定了一个延续多年的细水雾研究与发展计划。从1990年开始，美国海军实验室在一个 $3\text{ m} \times 3\text{ m} \times 2.4\text{ m}$ 的钢制受限空间内进行了早期的小尺度实验，使用改进的工业用水雾喷头产生细水雾。火灾场景包括各种开放式和有障碍物的A类木垛火以及B类池火和射流火。其改变的参数有：火焰尺度、火源位置、喷头间距、水流率、雾特性（细水雾形态、雾动量、雾滴粒径分布）、通风条件、障碍物情况以及氧气浓度。这些实验使得人们对细水雾的性能有了如下的认识<sup>[4,5]</sup>：

1) 与小火相比较大的火更易于扑灭，这主要是因为细水雾雾滴蒸发后体积急剧膨胀，产生稀释氧气的效果，而火焰尺度越大，则雾滴蒸发越快；

2) 在有障碍物的条件下，雾滴到达火焰面所需水平移动的距离越大，火焰越难扑灭（当喷头位于顶部向下喷射时，其水平位移的极限约为 $0.6\text{ m}$ ）；

3) 在通风良好情况下，火焰虽然较难扑灭，但细水雾的灭火性能要优于气体灭火介质；

4) A类深层火很难被完全扑灭，虽然其表面的火焰可被抑制；

5) 细水雾可通过冷却和对烟气的冲刷作用减小对室内的破坏；

6) 即使在最恶劣的情况下，有障碍火的尺度也将受到限制而无法继续发展，一旦火焰尺度超过某一临界值，由于细水雾雾滴蒸发而产生的稀释氧气的效果将使火焰熄灭；

7) 细水雾灭火系统所需水量相对较少（火焰一般在 $0.17 \sim 1.7\text{ L/m}^3 \cdot \text{min}$ 的喷雾速率下即可熄灭）；

8) 碳酸盐类添加剂可在相当程度上提高细水雾的灭火性能，不过其可能带来的毒性与腐蚀性值得注意。

### 2.3 全尺度实验（1990—1994）

随着小尺度实验的成功，美国海军开始进行全尺度实验以研究用于保护舰船动力机舱的细水雾灭火系统的基本设计参数。这些实验中的绝大部分在已退役的海军登陆舰 Shadwell 号上进行，目前该

舰已成为美国海军全尺度火灾研究的专门场所。与此同时，美国海军还在 NKL-CBD 进行了类似的实验，实验主要针对海军舰艇的可燃液体储藏室以及动力机舱<sup>[6,7]</sup>。

在 Shadwell 号上的实验是在一个2层的受限空间内进行，受限空间体积约为 $960\text{ m}^3$ 。实验中的火焰功率最大可至 $10\text{ MW}$ ，包括开放式射流火、有障碍物的射流火和油池火，燃料分别为正庚烷和柴油。实验中考察了细水雾在无障碍物和有大量障碍物条件下灭火性能的差异。在有障碍物的火灾场景中，障碍物主要是全尺寸的柴油机、减速箱、汽轮机模型和相应的进出管道。为模拟典型舰船动力机舱的实际情况，其中一些实验是在有强制通风的条件下进行的。所评估的细水雾灭火系统有高压单流体系统、低压单流体系统以及双流体系统（水/空气或水/氮气）<sup>[8-10]</sup>。实验的一些主要发现如下<sup>[11-14]</sup>：

1) 灭火性能最好的喷头为一种经过改进的7N喷头，其工作压力为 $7\text{ MPa}$ ；

2) 喷头安装在顶部时的灭火性能最佳；

3) 喷头的安装间距建议为 $2.5\text{ m}$ ，最好安装足够的喷头以在室内达到 $0.4\text{ L/m}^3 \cdot \text{min}$ 的喷雾流率；

4) 除了有障碍物的小火或有强制通风的场合，系统的灭火时间均在 $1\text{ min}$ 以内；

5) 细水雾系统启动后数秒钟之内，室内温度即从 $500\text{ }^\circ\text{C}$ 降至 $50\text{ }^\circ\text{C}$ ；

6) 总体而言采用细水雾作为哈龙1301的替代物来保护海军舰船动力机舱是可行的。

### 2.4 LPD-17的设计与论证

1994年开始，美国海军实验室进行了大量全尺度实验，以得到舰船动力机舱应用细水雾灭火系统的各项基本设计参数。根据对全尺度实验结果的分析，美国海军海上系统指挥部决定在新一代海军舰艇上安装细水雾灭火系统作为动力机舱的防火保护，最先安装这一系统的是新一代两栖运输舰 LPD-17。为此美国海军实验室开始了将一般性细水雾灭火系统转化为适应于 LPD-17 动力机舱独特布局的灭火系统，即所谓的性能化设计。以往各国的防火设计规范基本上是用指令性条文的形式给出的。这种规范对所涉及保护场所的位置、布局、耐火等级、使用性质和消防设施的要求逐条做出了规定。设计人员只能依据所要设计的保护场所状

况,从规范中直接选定设计参数和指标。此种设计方法被称之为处方式设计。然而随着社会的不断进步,各种超大超高建筑以及具有特殊功能的场所大量涌现,原有的处方式防火设计规范已无法合理解决这些场所的防火设计问题。为此,国际安全领域的许多有识之士提出:应当以火灾安全工程学的思想为指导,根据保护场所的结构特点,通过定量计算,用某些物理参数描述火灾的发生和发展过程,从而对火灾、对保护场所内人员财产和结构本身的影响程度进行分析,并据此提出合理的消防对策。这就是性能化防火设计。由于细水雾灭火系统属于新一代清洁高效灭火系统,相关规范还很不完备,而各种环境因素和火灾场景的不同对于系统的灭火性能影响又非常之大,故迄今为止其设计多以性能化设计为主。根据 LPD-17 动力机舱的实际布局及海军军方的要求,美国海军实验室着重针对水的储存、压力的产生、控制、阀门以及管线布置等方面对系统进行设计。在系统的设计选型中除确保其各项性能参数达到实际要求之外将尽可能地减少其在舰船上的安装费用、所占空间以及总重量<sup>[15,16]</sup>。经过多年的实验研究与理论计算,这一工作已于 2001 年顺利完成并提交了总体研究报告。其最终设计包括 2 个细水雾泵站,一个在船的前部左舷,另一个在船的尾部右舷。每个泵站由一个专用的移动式储水罐(可保证 15 min 的供水要求)和一个正位移泵组成,泵由功率为 147 KW 的电机驱动。一个供水主管通过船上的 5 个动力机舱并将 2 个泵站相连,主管上装有远程控制阀以保证可由任一泵站向任意动力机舱供水。

## 2.5 数值模拟与理论研究

除了致力于将细水雾灭火技术应用于特定船舶的研究,美国海军还进行了大量更为基础的研究工作,以期对细水雾灭火的各种机理能有更为科学的认识。美国海军实验室发表了很多关于数值模拟与理论研究方面的文章。Ndubizu 等介绍了他们为验证所建立的气体扩散火焰模型而做的各种实验室尺度的实验数据,并以此为基础,对细水雾扑灭气体扩散火进行了评估<sup>[17]</sup>。另有一些文献介绍了为细水雾扑灭射流火的优化设计所作的计算机模拟工作。Prasad 等人则对压力对细水雾特性(雾滴粒径、初始动量和雾密度)乃至其灭火性能的各种影响进行了较为详细的介绍。此外,根据早期的全尺度实验中对一些实验现象的观察,尤其是对细水雾

扑灭有障碍小尺度火焰的观察,海军实验室对受限空间中的临界火焰强度进行了研究,即在受限空间内单纯依靠氧气的稀释而能扑灭的最小(热释放率)火焰。

## 2.6 细水雾在电气设备的应用

美国海军委托霍普金斯大学应用物理实验室开展了一项有关细水雾对通电电器设备影响的评估研究,试验中选择的设备包括 450 V 三相电机、电机控制器及控制面板,以模拟将在 LPD-17 的动力机舱内安装的电器设备。研究的目的在于确定细水雾对电器设备的潜在威胁以及雾滴落在通电设备上引起人员触电的危险程度。

所选喷头与安装于 LPD-17 上的喷头完全一致,流量则要大 60%,以保证设计余量。绝大部分实验使用普通淡水,也有一些使用含盐水和普通海水,以确定含盐量的影响。实验结果显示淡水的导电能力非常低,仅仅当细水雾连续施加而导致设备表面沉积大量水时才有触电的危险。电机与电机控制器基本上没有漏电现象,当控制面板表面清洁并正确接地时,其触电的危险也几乎可以忽略不计。因此,研究人员认为:由于施加细水雾而导致触电的可能性很小,即使所有设备都处于通电状态时,在施加细水雾之前也无需进行人员疏散。

## 2.7 独立式细水雾系统

作为发展 LPD-17 动力机舱细水雾灭火系统计划的延续,美国海军实验室又开始进行应用于混合舱的独立式小型细水雾灭火系统的研究,这种混合舱过去一般都是采用哈龙 1301 进行防火保护。这些舱室包括:可燃液体储存室、油漆存放间、备用柴油发电机间以及燃料泵房。由于这些舱室与动力机舱相比相对较小而且较为分散,因而采用类似于动力机舱的细水雾灭火系统对其进行保护显然不太实际。

美国海军实验室已确定了初步的实验计划并开始对现有的各种商用独立式细水雾灭火系统(包括储水罐)进行筛选<sup>[18,19]</sup>。此外,美国海军海上系统指挥部还投入资金进行了另一种细水雾系统的设计,该系统由可移动的细水雾泵供水,其水源为普通海水。该系统可由舰船的消防总管直接供水,并具有重量轻、占地面积小的优势。目前该系统已进入实验阶段。

## 2.8 DC-ARM 中的细水雾系统

美国海军研究中心现正进行一项历时多年的研

究,其目的在于发展一种舰船自动损害控制系统以增强未来战争中艇员的生存能力并补偿由于舰队人员的削减而带来的一些问题。这项计划被称为“人员削减下的损管自动化”(DC-ARM)。在该计划中考虑采用细水雾灭火系统作为整个舰船的防火保护并用以抑制舱室内的轰燃以及对其边界的冷却。

至目前为止的实验结果显示,在通风受限的空间内,采用宽间距、低流量的喷头即可达到抑制轰燃的效果。而且即使只在门口安装细水雾喷头,室内的最高温度也能控制在 $150\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以下。在抑制轰燃的同时其实也达到了边界冷却的目的,因为火源所在的舱室由于温度受到控制而无法引燃相邻的舱室。此外,实验显示安装在门口的喷头对于进入走道的气体有明显的冷却作用,从而显著降低了烟气的危害性。

### 2.9 未来的工作

目前,美国海军实验室正致力于以下几个方面的工作:制订和完备应用于LPD-17上的细水雾灭火系统的相关文件;进一步研究细水雾系统在电气设备上的应用,其研究范围包括计算机以及其它典型电子设备;完成对独立式细水雾系统的评估;继续进行DC-ARM研究,发展应用于整个舰船的细水雾灭火系统。

## 3 英国皇家海军消防部

英国皇家海军的消防部(ME225)自1993年起即开始进行细水雾灭火系统的研究,旨在将细水雾灭火系统作为哈龙灭火剂的替代物应用于舰动力机舱的防火保护<sup>[20]</sup>。

### 3.1 机理性实验及文献调研

在一个 $8\text{ m}\times 4\text{ m}\times 3\text{ m}$ 的受限空间内对海军现有的灭火系统(哈龙1301、二氧化碳和传统水喷淋系统)进行了实验室尺度的测试工作,并以之作为基准对细水雾灭火系统的灭火性能进行了测试。与此同时对现有的商用低压细水雾喷头和可能的添加剂进行了大量的文献调研工作,并从其中筛选出一批喷头和添加剂以待评估。

### 3.2 喷头及添加剂的评估

为减少火灾实验带来的费用问题,首先通过专门的实验对所选喷头的各项性能参数进行比较,并从中初选出4种符合要求的喷头以待下一步的全尺度实验进行评估<sup>[21]</sup>。同时还选用了一种细水雾喷头在加入添加剂后与现有的船用水喷淋喷头(加添

加剂)进行比较<sup>[22, 23]</sup>。其中各项性能居于首位的添加剂是AFFF和FFFP,其它号称对于环境更加友好的添加剂与之相比性能上尚有差异。实验中添加剂的使用浓度均按照制造商的推荐浓度。

### 3.3 小尺度实验

ME225进行小尺度火灾模拟实验,以评估初步筛选出的4种低压细水雾喷头效果。其模拟的火灾场景包括小尺度柴油火、航空煤油火、正庚烷火、木垛火和电缆火等。由于实验中采用的均为小尺度火焰,从而削弱了灭火系统稀释氧气的效果,展现了每个系统的真实灭火能力。实验结果显示其中一种K15的低流量喷头在各种火灾场景下都有较好的灭火性能,尤其是在加入添加剂后。激光多普勒技术对这种喷头的雾特性参数进行测量的结果显示其产生的雾滴粒径从 $100\text{ }\mu\text{m}$ 至 $400\text{ }\mu\text{m}$ ,其 $D_{v,0.99}$ 为 $322\text{ }\mu\text{m}$ 。这意味着它可以在保持细水雾优势(小粒径部分)的同时又能将添加剂输运到火焰区(大粒径部分)。在 $7\times 10^5\text{ Pa}$ 压力下其流率为 $39\text{ L/min}$ ,较一般的细水雾喷头为高,不过与海军通常使用的K为59的水喷淋喷头相比,其节水量是明显的。实验中另一个重要结论是在水与AFFF的比率从通常的94/6降至99.5/0.5时,系统的灭火性能有显著提高。

### 3.4 射流火实验

ME225进行系统扑灭柴油射流火的模拟实验,火焰射向模拟管路。这些管路主要是作为复燃源存在。实验在前面提到的受限空间内进行,考虑到通风情况对于该类火焰的重要影响,其通风条件有所改变。实验结果表明在任何通风条件下系统均能扑灭较大的射流火,而尺度较小的射流火则只能在通风受限的条件下被扑灭。

### 3.5 中等尺度实验

在实验室尺度上对系统的灭火性能、雾特性和添加剂浓度配比进行了大量实验后,在一个更大的钢制受限空间内进行可行性实验,以考察障碍物对系统灭火效果的影响<sup>[24]</sup>。由于准确的判定细水雾的灭火性能与受限空间总容积(尤其是高度)的关系是非常困难的,因而通常认为进行全尺度实验以作为系统设计的指导与验证是非常必要的。不过为了保险起见,在进行全尺度实验之前先在位于普茨茅斯的皇家海军消防学校内利用现有的条件进行了中等尺度的灭火模拟实验<sup>[25]</sup>。实验间的总容积为 $140\text{ m}^3$ ,高为 $4.9\text{ m}$ 。



受限空间的地面铺有钢板作为舱底, 还有走道、阶梯、作为障碍物的管路以及一些机器的模型。实验从2000年7月开始, 先是将4个K15喷头按照3 m间隔布置在顶端, 其后又将4个同样的喷头布置在2.5 m高处。 $7 \times 10^5$  Pa下使用AFFF添加剂(99/1)的实验结果是令人振奋的。其模拟的火灾场景包括木垛火、绝缘材料火、柴油油池火(800 KW左右)和柴油射流火(分别为1.5 MW和3.0 MW)。在没有障碍物的情况下无论通风条件如何, 油池火均可以在60 s以内被扑灭。当喷头均位于顶部时, 被障碍物完全遮挡的油池火很难被扑灭。为此他们在较低处又布置了4个喷头以避免障碍物, 在这种布局下不管通风情况如何, 所有的油池火均能被扑灭。射流火的扑灭要更困难, 尤其是小尺度有障碍物的射流火, 其扑灭有赖于较好的密封条件(通风受限)。这一阶段的一个重要发现是系统能够很快冷却室内空气, 从而使工作人员可以安全进入。

### 3.6 未来工作

随着中等尺度实验的成功, ME225正着手准备下一阶段的2项工作, 即大尺度实验与建立系统设计指南。这2项工作将同时进行, 其中大尺度实验将根据对英国皇家海军现有战舰的调查提出实验方案和具体要求, 其设计空间总容积在1 000 m<sup>3</sup>以上, 高为7 m。空间内将按照舰船的真实场景布置各种障碍物。

## 4 其它国家

此外, 瑞典、挪威和加拿大等国在细水雾灭火技术方面也进行了多年的研究工作, 虽然这些研究并非由其海军主导。其中瑞典国家测试研究所(SP)下属的消防部除针对舰船动力机舱的防火保护进行了500 m<sup>3</sup>全尺度实验外, 还根据IMO的测试规范对舰船客舱(主要针对A类火)的防火保护进行了全尺度实验。不过其500 m<sup>3</sup>动力机舱模拟灭火实验中设计的火灾场景只有油池火而无射流火。挪威火灾实验室的研究则侧重于理论方面, 他们针对细水雾系统在动力机舱的应用建立了理论模型, 并对其在不同场景下的各项灭火机理进行了细致的分析, 为海上细水雾系统的设计提供了指导。

## 5 小结

随着各国对细水雾灭火技术在舰船应用研究的

进一步深入, 舰船细水雾灭火系统已愈来愈凸现其美好的应用前景。更令人振奋的是其在舰船的应用未必仅止于动力机舱的保护, 研究表明细水雾系统在设计上进行一定的改进后将有可能承担整个舰船的防火保护任务, 从而完全取代现有的卤代烷、气体和水喷淋灭火系统。

各国在细水雾灭火技术方面的研究各有侧重, 不过总体而言, 由于细水雾系统自身的特点(灭火机理的复杂性), 要发展适合于舰船动力机舱防火保护的灭火系统则必须对系统进行性能化设计, 即在满足消防安全要求的前提下, 根据实际危险源和可能的火灾场景等因素对保护场所进行风险评估, 最后完成系统的设计。而由于资料的相对匮乏, 现阶段这种设计仍离不开全尺度实验。如前所述, 我国在这方面的研究处于滞后状态, 因此应抓紧时间, 组织技术力量根据我国各类战舰的实际场景, 参照IMO的有关测试规范, 对细水雾灭火系统在舰船上的应用进行攻关研究, 发展出一种适合于我国舰船特点的细水雾灭火系统, 从而在未来的海上竞争中处于有利态势。

### 参考文献

- [1] Carhart H W, Fielding G H, Williams F W. Suppression—why not water? [R]. Washington DC: Naval Research Laboratory, 1977. NRL Memorandum Report 3435
- [2] Lugar J R, Fornslor R O, Carhart H W, Fielding G H. Flame extinguishment by waterfogs and sprays [A]. Fifth Quadripartite Conference IEP ABCA-7 [C]. 1978
- [3] Lugar J R. Water Mist Fire Protection [R]. Bethesda MD: David W Taylor Naval Ship Research and Development Center, 1979
- [4] Hanauska C P, Back G G. Halons: alternative fire protection Systems, an overview of water mist fire suppression systems technology [R]. Columbia MD: Hughes Associates, Inc, 1993
- [5] Back G G. Water mist: limits of the current technology for use in total flooding applications [R]. presented for the Society of Fire Protection Engineers at the National Fire Protection Association Annual Meeting, 1994
- [6] Back G G, Darwin R L, Leonard J T. Full scale tests of water mist fire suppression systems for navy shipboard machinery spaces [A]. Proceeding at INTEFLAM 96[C]. Cumhr-idgc En vlunti: St.

- John's Collrge, 1996
- [ 7 ] Back G G, DiNenno P J, Hill S A, Leonard J T. Evaluation of water mist fire extinguishing systems for flammable liquid storeroom applications on US army watercraft [ R ]. Washington DC: Naval Research Laboratory, 1995. NRL Ltr Rpt Ser 6180/0660.1
- [ 8 ] Leonard J T, Back G G, DiNenno P J. Full scale machinery space water mist tests: phase I — unohstructed space [ R ]. Washington DC: Naval Research Laboratory, 1994. NRL Ltr Rpt Ser 6180/0713.1
- [ 9 ] Leonard J T, Back G G, DiNenno P J. Full scale machinery space water mist tests: phase II — simulated machinery space [ R ]. Washington DC: Naval Research Laboratory, 1994. NRL Ltr Rpt Ser 6180/0868.2
- [10] Darwin R L, Leonard J T, Back G G. Status report on the development of water mist systems for US Navy shipboard machinery space [ A ]. Proceedings Halon Options Technical Working Conference [ C ]. Albuquerque NM : NIST, 1995. 411~422
- [11] Darwin R L. Large scale testing of shipboard halon alternatives [ A ]. Proceedings Halon Alternatives Technical Working Conference [ C ]. Albuquerque NM, 1994. 143~154
- [12] Tatem P A, Beyler C L, DiNenno P J, Budnick E K, Back G G, Younis S E. A review of water mist technology for fire suppression [ R ]. Washington DC: Naval Research Laboratory, 1994. NRL/MR/6180 - 94 - 7624
- [13] Leonard J T, Darwin R L, Back G G. Full scale tests of water mist fire suppression systems for machinery spaccs [ A ]. In: Lund D P, ed. Proceedings of the International Conference on Fire Research and Engineering [ C ], Washington DC: Society of Fire Protection Engineers, 1995
- [14] Parker A J, Budnick E K, Williams F W. Sensitivity of operational parameters for low pressure water mist systems in residential type fires [ R ]. Washington DC: Naval Research Laboratory, 1997. NRL Ltr Rpt Ser 61 80/0246
- [15] Williams F W, Street T T, Back G G, Darwin R L, DiNenno P J, Steinberg R L, Hill J A, Karlsen J. Water mist system: LPD - 17 design validation and full-scale machinery space water mist fire suppression tests [ R ]. Washington DC: Naval Research Laboratory, 1997. NRL Ltr Rpt Ser hl80/0007
- [16] Gauthier Jr L R, Bennett J M, Land III H B. The effects of water mist discharge on energized LPD 17 electrical equipment in the absence of fire — initial studies [ R ]. Baltimore MA: The Johns Hopkins University Applied Physics Laboratory, 1999. Test Report AATDL - 99 - 024
- [17] Prasad K, Li C, Kailasanath K. Numerical modeling of fire suppression using water mist 2: an optimization study on jet diffusion flames [ R ]. Washington DC: Naval Research Laboratory, 1998. NRL Ltr Rpt Ser 6180
- [18] Maranghides A, Sheinson, R S. Test plan for self-contained total flooding halon I301 alternative technologies evaluation — phase 1, Marioff hi-fog water mist system [ R ]. Washington DC: Naval Research Laboratory ,1999. NRL Ltr Rpt Ser 6180/0108
- [19] Ryan D F. Procurement specification for the medium pressure palletized small water mist fire suppression system [ R ]. Washington DC: M Rosenblatt & Son Inc, 1999
- [20] Research Station on behalf of Ministry of Defence [ R ]. Ministry of defence of UK, 1995. Report TCR 20/95
- [21] Murrell J V, Crowhurst D. Attenuation of Sprays from Selected Hydraulic Nozzles [ A ]. Halon Options Technical Working Conference Proceedings [ C ]. 1995
- [22] Mawhinney J R, Solomon R. Fire Protection Handbook, 18th Edition [ M ]. Quincy MA: National Fire Protection Association, 1997
- [23] Edwards M, Watkins S, Glockling J L. Low pressure water mist, fine water spray, water source and additives: evaluation for the Royal Navy [ A ]. Proceedings of Halon Options Technical Working Conference [ C ]. Albuquerque NM: NIST, 1999
- [24] Glockling J L, Edwards M, Watkins S. Development of a low-pressure fine water spray fire suppression system for the Royal Navy: intermediate scale testing [ A ]. Proceedings of Halon Options Technical Working Conference [ C ]. Albuquerque NM: NIST, 2001
- [25] Wighus R. An empirical model for extinguishment of enclosed fires with water mist [ A ]. Proceedings, Halon Options Technical Working Conference [ C ]. Albuquerque NM : NIST 1998. 482~489

## Review of Study of Water Mist Fire Protection Systems on Shipboard

Lu Qiang, Liao Guangxuan, Huang Xin, Wan Tianbin

(*State Key Laboratory of Fire Science, USTC, Hefei 230026, China*)

[**Abstract**] During the last decade, water mist fire protection technologies have always been the hotspot in world safety field. Being the large consumer of Halon1301 and Halon 1211 primarily, navies of most countries in the world felt more enthusiasm about it. US Navy, Royal Navy and other navies have undertaken an extensive study of water mist for fire protection applications aboard ship, especially in machinery spaces. And the results of the testing and theoretic study conducted by them are encouraging. Their study will be summarized in this paper, the purpose of this paper is twofold: to introduce their study to the fire protection workers in China and to provide a reference to China Navy in this field.

[**Key words**] water mist; pool fire; spray fire

---

(cont. from p.87)

## Design and Implementation of Bank's International Trade Financing System Using Component Technology

Yu Jinshan<sup>1</sup>, Chen Zhiqiang<sup>2</sup>

(1. *Department of Computer Science, Huaqiao University, Quanzhou, Fujian 362011, China*;

2. *Computer Division, Bank of China at Macau, Macau, China*)

[**Abstract**] While being an essential business in banking industry and its important role in banks getting more and more prominent with the coming of E-commerce era, the computerization of bank's international trade financing is considerably difficult. The difficulty comes from the complicated operation process, the variety, and dynamic requirement of flexibility of the business, which make it almost a mini-banking system itself. The appropriate and sophisticated software method and technology are needed to build a computer system of this kind. This paper presents a methodology based on semi-finished component model, and addresses a technique to design and implement the system. The technique is featured by building system on a standardized data bus interface, a system framework with menu/icon GUI for general controlling, and clusters of basic object components for elementary business. The basic object components can be grouped, wrapped, assembled into main frame and customized to produce a runnable system for a specific application or adapted to business changing. It also provides a flexible interface for integration with general banking systems and a sound foundation for distributed network banking systems.

[**Key words**] banking; international trade financing system; component; semi-finished system