

# 专 家 通 讯

第 9 期

中国消防协会专家委员会办公室主办

2024 年 12 月 16 日

## 目录

|                                |    |
|--------------------------------|----|
| 【专家风采】 .....                   | 1  |
| 专家委员会委员简介 .....                | 1  |
| 李思成 .....                      | 1  |
| 苗国典 .....                      | 3  |
| 【科技之光】 .....                   | 5  |
| 新时期抗洪抢险工作调研思考 .....            | 5  |
| 全氟己酮应用技术研究 .....               | 18 |
| 【国际交流】 .....                   | 36 |
| 中国消防协会组织会员单位赴法参加法国消防安全会展 ..... | 36 |
| 【网情问答】 .....                   | 41 |
| 问：消防无人机在灭火剂喷射过程中情况是怎样的？ .....  | 41 |

## 【专家风采】

### 专家委员会委员简介

#### 李思成

李思成，男，汉族，1977 年 2 月生，中共党员。山东省郓城县人，中国人民警察大学教授，“安全科学与工程”一级学科带头人，硕士研究生导师，警察大学学术工作委员。本科毕业于哈尔滨工业大学热能工程系建筑环境与设备专业，硕士毕业于中国科学技术大学火灾科学国家重点实验室安全技术及工程专业，博士毕业于北京工业大学建筑学院土木工程专业。

现任中国人民警察大学防火工程学院院长，消防专业国家级实验教学示范中心主任，河北省普通高校优秀教学团队“火灾烟气控制教学团队”负责人，河北省一流课程“建筑消防设施有效性检查与功能评测”负责人，教育部消防工程专业虚拟教研室主任，住房和城乡建设部科学技术委员会建设工程消防技术专业委员会副主任委员，中国土木工程学会工程防火技术分会副理事长，中国工程建设标准化协会建筑防火专业委员会副主任委员，消防工程教学指导委员会副主任委员，中国消防协会学术工作委员会秘书长。

近五年主持国家自然科学基金面上项目“射流边界条件与壁面边

界条件耦合作用下前室受限射流输运特性与防烟幕盾形成机理”、住房和城乡建设部研究项目“国内外消防审验管理法律法规制度比较”、河北省重点研发项目“多参数耦合作用下防火分隔水幕对电动汽车分散充电地下车库火灾烟气扩散抑制效果的影响”、教育部第二批新工科研究与实践项目“基于新技术融合的消防工程专业人才培养模式探索与实践”、河北省自然科学基金面上项目“室外风与机械排烟综合驱动对疏散走廊火灾烟气分层特性的影响”等科研项目 10 余项。

“建筑火灾烟气输运规律及控制技术研究”获公安部科学技术奖励二等奖，出版专著和教材 6 部，参与标准编写 4 部，发表论文 100 余篇，指导研究生获 2016 年度河北省优秀硕士学位论文。2018 年荣获三等功 1 次；2017 年获公安现役专业技术人才奖励一等奖； 2017 年荣获三等功 1 次。

主要研究方向：建筑火灾预防与控制、火场排烟技术、火灾风险评估、新能源火灾防控等。

## 苗国典

苗国典，男，1960年7月出生，辽宁铁岭人，中共党员，1979年12入伍，服役于鞍山市消防支队。1984年7月山西夏县中国人民武装警察部队专科学校大学专科毕业，2002年8月廊坊武警学院函授大学本科毕业。应急管理部天津消防研究所特约研究员、应急管理部灭火救援专家组专家、消防与应急救援国家工程研究中心特约研究员、中国应急学会消防工作委员会委员、中国消防协会专家委员会委员、中国消防手册编写组成员。

苗国典同志长期从事灭火救援指挥工作，具有丰富的灭火救援理论基础和实战经验，在2002年鞍钢“4.26”化工总厂电铺焦油器火灾扑救中，作为鞍山市消防支队参谋长，因火场指挥有力成功扑灭火灾荣立二等功。在2010年大连“7.16”中石油国际储运有限公司原油库输油管道爆炸火灾扑救中，因在指挥中提出重要决策意见，为火灾成功扑救给予技术支持荣立二等功。其主要参与编写的《石油化工场所消防安全技术规范》(2015年)，荣获公安部消防局科学技术一等奖。

苗国典同志2006年组织编写了《中国消防手册》灭火救援卷公众聚焦场所篇；2008年参与编写了公安部消防局出版的《高层灭火对策研究》一书；2022年主编了中国消防救援学院规划教材《灭火战术

训练》；在《消防科学与技术》及《武警学院报》发表了《地震灾害应急救援行动准则初探》、《大连“7.16”油库爆炸火灾扑救难点及经验启示》等多篇论文。参与了上海科研所立项的 GB/T29175《消防应急救援技术训练指南》、GB/T29176《消防应急救援作业规程-纯图版》、GB/T29177《消防应急救援训练设施要求》、GB/T29178《消防应急救援装备配备指南》、GB/T29179《消防应急救援作业规程》等国家标准的编写。

苗国典同志从事灭火救援工作近四十年，参与各类灭火救援行动指挥上千次，作战荣立二等功两次。

# 新时期抗洪抢险工作调研思考

朱飞勇

（江西消防总队总工）

**摘 要：**作者实地调研 3 省 5 市，结合 30 年抗洪实践，客观分析了全国洪灾的分类、分布、发生规律，总结分析了改制转隶以来 16 起消防员抗洪伤亡案例 6 个规律，从“四个强化”角度，对新时期抗洪抢险的指挥、调度、处置、安全工作进行研究分析。

**关键词：**新时期 抗洪抢险 调研 对策

中国幅员辽阔，山洪、内涝、泥石流、台风等洪灾发生频繁，损失巨大，抗洪抢险任务沉重。消防救援队伍自改革转制以来，参与抗洪抢险训战伤亡事故屡屡发生，为预防事故、科学处置，笔者专门深入 3 个省市、4 个部门开展专题调研，研究了百余起抗洪案例，查阅了多份资料，现结合长期抗洪实践，就新时期做好抗洪抢险工作思考如下：

## 1 洪灾分类分布特点

### 1.1 洪涝灾害影响及分类特点

#### 1.1.1 内陆洪水灾害特点

内陆洪灾出现频率高，波及范围广，破坏性大，洪涝淹没建筑，还破坏交通，毁坏农作物，造成次生灾害多，人员伤亡大。

#### 1.1.2 泥石流、山体滑坡特点

具有突然性，流速快，流量大，破坏力强等特点。我国的西北地

区，荒漠化较为严重，强降雨后易造成泥石流灾害，造成巨大损失。2010 年甘肃舟曲“8.7”泥石流，遇难 1557 人，失踪 284 人。2008 年四川汶川特大地震后，我国的云、贵、川、渝等西南地区地质结构遭到破坏，土壤层和岩石层有脱离，发生强降雨后，出现多起山体滑坡、工地滑坡等地质灾害。2019 年贵州水城“7.23”山体滑坡，38 人遇难，13 人失联。

### 1.1.3 南方台风特点

台风引起的灾害通常有三类：风灾、雨灾和风暴潮。台风可摧毁建筑，造成高空坠落，通信和道路中断。暴雨和风暴潮主要对沿海居民生命财产产生威胁，过后常伴随瘟疫流行。2018 年 9 月 16 日，广东省遭受强台风“山竹”侵袭，102 县区 238.3 万人受灾，直接经济损失 76 亿元。

## 1.2 我国洪灾分布规律

### 1.2.1 总体分布是七下八上

我国的洪灾 7 月份以前主要在长江以南，8 月份以后主要是长江以北。总的来说，沿海和南方省份洪灾更频繁。广东、浙江、福建、上海、江苏、海南等沿海城市每年 7-9 月台风不断，江西、湖南、湖北、安徽、福建、广西、贵州、云南、四川、重庆等地 4-6 月洪灾多发，山洪内涝基本上“三年一大灾，每年一小灾”。近年长江中下游经常是“旱涝急转”，鄱阳湖、洞庭湖上半年似大海受涝，下半年似草原受旱。

### 1.2.2 我国区域设防情况

华北、西北、华中等北方缺水地区的降雨总量较少，平常年降雨 300-600 毫米，常年任务是抗旱保灌溉，防汛意识淡薄，防汛预警和响应机制缺乏，城市排涝规划建设不够，上下缺乏抗洪经验，不能及时预警处置，城市防汛经验和抢险装备较为缺乏，防洪机制演练较少，天灾加人祸会导致损失扩大。南方省份每年降雨 1600-2000 毫米左右，台风频发，洪涝较多，抗洪有实践经验。新时期我国城市建筑越建越高，涵洞、隧道、地铁增多，地下车库和人防工程增多，由于洪涝造成人员和财产损失风险越大。中西部地区农村年轻人外出务工，空心化严重，自防自救能力弱。2021 年河南“7.20”洪灾造成 398 死，损失 1200 亿。2023 年重庆万州“7.4”暴雨造成 15 死 4 失踪。

### **1.3 新时期消防抗洪特点**

应急管理部组建以来，地方各级政府防汛抗旱指挥部都设在应急厅局，此类出动任务更加繁重。

#### **1.3.1 专业力量建设日趋完善**

消防队伍改制转隶后，全面承担“全灾种”任务，水域救援专业力量全面夯实。以江西消防总队为例，目前已建有 2 个总队级（重型）救援队、9 个支队级（中、轻型）救援队以及 129 个站级救援分队，总编成人数 1860 人，共编配舟艇 794 艘（橡皮艇 358 艘、冲锋舟 436 艘）、各类编队车辆 284 辆，以及急流救生衣、救生抛投器等各类水域救援专用装备和抢险器材 5 万余件套，基本形成了覆盖全省的立体化抗洪抢险救援力量体系。

#### **1.3.2 科技预警作用愈加明显**



目前充分依靠科技，发挥气象与水文部门预警作用，尤其是对台风和超强降雨提前预测预报。因局部强对流天气变化和台风叠加变化较多，无法准确预报的，可通过 3-6 小时短期气象预报进行补充，及时预警转移人员，提前布置救灾力量，减少生命财产损失。

### **1.3.3 抗洪抢险任务更加繁重**

改革转制以来，江西总队作为全国水域救援任务最繁重、最艰巨的区域之一，共参与抗洪抢险应急处置 3763 起，水上营救 2460 起，处置类型涵盖强对流、强降雨、城镇内涝、堤坝加固、排水排涝、山洪救援等，抗洪抢险已成为消防救援队伍的主责主业。

## **2 抗洪典型案例分析**

大灾大难平安有序，小灾小水屡屡伤亡。改制以来，全国 4 次大范围、多队伍、多人员的跨省抗洪行动，没有消防伤亡，但是站级抗洪行动，甚至组织训练却造成伤亡，形成巨大反差。消防员里面近一半不会游泳，舟艇熟练操作员少，发生紧急情况，既救不了别人，也救不了自己。多数指挥员对严重洪涝灾害的特点规律了解不够；对处置指挥重点、安全管理等缺乏全面认知，存在沿用灭火理念方法指挥抗洪问题。

2018 年 8 月中下旬的山东寿光抗洪。改制来的第一次大的救援行动，天津、河北、江苏等总队跨省增援，前期参与救人行动，后期主要是抽水排涝。2020 年 7 月中旬，江西鄱阳湖洪水暴涨。湖南、浙江、福建、湖北、安徽总队千余人跨省增援，分段驻守鄱阳湖，体现了一盘棋思想。7 月下旬，雨水北移，上海、江苏等多省消防力量又

到安徽淮河增援抗洪。2021 年河南郑州抗洪抢险，北京、江西、江苏等 9 个省总队 4000 余人增援，加上河南总队和志愿救灾力量 1 万多人，共近 2 万人参加，当时郑州市断水、断电、断路，9 个总队自我保障，独立作战。此次抗洪救灾规模空前，难度空前。改制来跨省抗洪行动，虽驰援千里，都持续半个月左右，均未出现消防员牺牲。

但是改制以来，城市消防救援队伍先后发生 16 起水域消防指战员伤亡事故。2018 年 1 起，2019 年 5 起，2020 年 5 起，2021 年 3 起，2022 年 2 起，先后有 13 名指战员（2 名干部、6 名消防员、5 名专职员）在抗洪抢险中牺牲。还有 3 起 4 名指战员在抗洪训练中牺牲。水域训战伤亡起数和亡人数占城市消防队伍指战员训战伤亡总数的三分之一强。现结合 2018 年改制以来全国消防抗洪训战伤亡案例，进行规律分析：

## **2.1 城市内河滚水坝沸腾线屡屡造成伤亡**

所谓沸腾线又称死亡线，是指内河简易拦河坝表面泄水位置，会随着水流高度差冲击形成的一个“o”字型随水循环回流，人员接近后会类似滚筒洗衣机样被卷入，而难以脱离。被困人员只能从内河底部借力潜游出循环水体，方能自我逃生；或通过绳索和橡皮圈通过外力拉出。消防队伍因对滚水坝沸腾线了解不深，屡屡因之伤亡。2019 年浙江安吉“8.14”救援，系上游水库放水，县城内河滚水坝水量增大，参加此处救人的消防站长牺牲在此，当时站长救生衣与救生绳脱开，外力无法施救。浙江温州“9.3”和新疆和田“8.5”抗洪训练，被困消防员也是在滚水坝沸腾线位置牺牲。2018 年 4 月 21 日 13 时，

桂林 2 艘龙舟在内河橡胶滚水坝训练时倾覆，造成 57 人落水，17 龙舟选手淹亡于沸腾线处。

## 2.2 急流中救援船艇倾覆伤亡

舟艇舷外机被缠绕失去动力，或是急流冲击失去平衡倾覆，导致舟艇人员伤亡。对于山洪暴发、水库溃决、上游泄洪，下游往往形成急流，要尽可能使用冲锋舟救援，橡皮艇虽方便携行，但容易倾覆，如洪水含有泥沙，更易造成指战员伤亡。特别是救援时着灭火服装的，极难逃生自救。2020 年“8.8”河南宜阳大队救援橡胶坝群众时，冲锋舟被水草缠绕失去动力倾覆，1 国家队 1 专职队 2 消防员牺牲。甘肃文县“8.13”救助待产孕妇过程中，橡皮艇遇急流侧翻，1 消防员牺牲。安徽庐江“7.22”救人过程中，橡皮艇急流倾覆，陈陆教导员牺牲。

## 2.3 山洪突然暴发造成伤亡

2020 年“7.7”南昌梅岭景区遭遇强降雨，两名专职队员刚处理完一起洪水车辆事故后，突遭数米高山洪冲击，造成两人冲走牺牲。2019 年“7.21”江西靖安 300 名“驴友”遇险被困，也是因为山区强降雨突然引发数米高山洪，4 名“驴友”冲走丧生，车辆被冲出数公里。

## 2.4 泥石流和水库决堤造成抗洪伤亡

在连续降雨之后，山体土壤和病险堤坝往往已经到达了饱和度，抗洪过程中极易发生溃决和泥石流。南方水库众多，全国 9.8 万个水库，江西和湖南各有 1 万个水库，现在病险水库众多，连续降雨，容

易溃决，在抗洪过程中必须防范。2019 年“8.20”四川映秀发生山洪泥石流，1 名专职消防员救援中被冲走牺牲。2023 年“6.27”映秀再次发生泥石流，3 人失踪 4 人死亡。

## **2.5 使用河流横跨的桥梁屯物屯兵溃决伤亡**

在急流洪水的冲刷下，桥下基础部分往往损毁，碰到洪水中树木等重物的冲击，极易垮塌造成桥面人员伤亡。桥面尽管方便观察、运输，但不宜设为抗洪指挥部和物资、人员中转站。云南年文山州丘北县 2022 年“5.26”桥梁垮塌，1 名消防员牺牲，当时多名地方干部和消防员在桥上侦查灾情；福建龙岩市新罗区 2023 年“5.6”抗洪中，4 名街镇干部石桥上指挥时垮塌淹亡。可在附近高速公路服务区或毗邻村庄作为指挥部和屯兵中转站，在洪水旁边路边高处设观察哨。

## **2.6 抗洪训练不规范不重视造成伤亡**

水域训练时，重视不够，组织不严，缺乏师资、场地不熟，容易造成事故。2022 年 7 月 4 日上午，福建莆田支队特勤等 6 个站 29 名指战员自发参加游泳培训，由于防护措施不到位，导致 1 名消防员溺水牺牲。2021 年 8 月 5 日 17 时，新疆墨玉县消防站进行外挂机性能测试时，橡皮艇突然失去动力，顺水下流到滚水坝沸腾线处倾翻，2 名指战员溺水牺牲。涉水 4 人中 3 人不会游泳，岸上 4 人本可设置绳索互救。

## **3 抗洪抢险对策研究**

改革转制后，地方政府防汛指挥部设在应急厅局，消防队伍全面遂行水域救援任务，抗洪抢险变为主责主业，应全面规范抗洪抢险行

动，现结合不同水情进行研究。

### **3.1 强化组织指挥**

抗洪救援现场要同时成立两个指挥部，坚持“党政统一领导，应急综合协调，消防主调主战，部门依法履职”的原则，实施消防救援队伍的独立指挥。

#### **3.1.1 建立党政指挥部，实施统一领导**

根据政府防汛应急总体预案，本级党政领导担任指挥长，应急、消防、水利、宣传、公安、交通、医疗、气象、水文和市政、供水、供电、通信保障部门参加指挥部，应急部门统筹协调，共享视频图像，及时会商灾情，协调行动。指挥部各成员单位，按照法定职责履行职能。

#### **3.1.2 建立消防指挥部，实施独立指挥**

在属地党委政府的统一领导下，自成作战指挥体系，并坚持统一指挥、逐级指挥的原则。要科学指挥、独立指挥。成立消防现场指挥部，下设指挥组、行动组、政工组、宣传组、保障组、专家组。在安全区域集结人员装备，在党政指挥部指挥下，单独制定方案和展开行动。

#### **3.1.3 加强现场通信保障，实施灾情共享**

通过洪灾现场无人机、布控球、4G 图传音视频，为两级指挥部决策提供服务，为党政指挥部、消防指挥部和各级消防指挥中心服务。信息畅通十分重要，没有公网的要保证卫星通信。要使用卫星便携站保障通信，要及时调度运营商提供通信保障。尽快把公网建立起来。

### **3.1.4 现场绘图指挥，决策科学精准**

要在指挥部悬挂“三图一表”，科学指挥，一键式调动，实现水情、力量情况、装备情况、群众情况、气象情况全部掌控，快速决策，科学指挥，行动迅速。

## **3.2 强化力量调度**

力量跟着汛期走，救援抢在成灾前。要时时保持与气象部门联系，根据预报提前预置力量和装备，集中所有力量，打有准备之战。我国现有抗洪力量格局是以国家综合性消防救援队伍为主力，以军队非战争军事行动力量为突击，以行业领域专业救援队伍为协调，以社会应急力量为辅助的综合应急救援力量体系。一是迅速调派抗洪抢险前置驻勤力量、专业力量、机动突击力量以及战勤保障力量到场救援，视情调集社会应急力量协同救援。二是与属地党政指挥部做好对接，依据防汛抗洪预案，督促落实市政、城管、公安等政府部门工作职责。

## **3.3 强化救援行动**

### **3.3.1 组织灾情侦察**

通过询问知情人，初步了解遇险人员、被困物资的位置和数量以及受水势威胁的程度等情况；利用无人机或消防舟（艇）进行水域侦察，查明遇险人员的具体位置和数量、被困状态情况，确定救人的途径和方式等；根据侦察情况，指挥员对遇险人员现场环境、水情态势、救助可行性、行动安全等情况进行综合评估，并制定作业方案。

### **3.3.2 科学开展行动**

（1）搜救遇险人员。这是消防救援重点和核心职责任务。灵活

选用或组合应用水域救人方法，实施多途径救人。一是水面救助法。抛投救生圈、救生衣、漂浮绳营救；二是入水救助法。用涉水、游水、潜水等方法营救；三是船艇救助法。用消防船（艇）、冲锋舟艇营救；四是绳桥救助法。用地形地物和绳索系统架桥营救；五是载运救助法。用直升机、举高车、挖掘机等营救；六是接力救助法。用绳、梯和舟艇、机械等联用营救。

（2）实施内涝排险。一是发挥城市排水设施功能。与属地市政、城管部门对接，疏通排水管网，挖掘市政排水潜能。二是根据地形地势引流排水。超过市政排水能力的，可采取疏浚河道、打通堵点、开渠引流等方法。三是利用消防移动装备排水。小涝利用消防车、手抬泵、浮艇泵等进行抽吸排放；大涝利用远程供水泵组、大型排水机械等大功率大流量设备直接抽排。

（3）疏散重要物资。在工程技术人员指导下，利用消防船（艇）等作为载具，将重要物资转移至安全指定区域。

（4）保护重点目标。利用消防排水设备对浸水区域进行抽排，采取筑堤围堵方法对水侵区域进行保护。采取覆盖、收容、架高方法对须防水重要物资进行保护；对急需转移的重要物资进行转移保护。

（5）参加其他任务。一是堤坝抢险。主要应对堤坝漫顶、崩岸、管涌、塌方、溃决 5 种情况。水下放薄膜纸、塑料编织布围住坝体，形成合力保护崩岸后堤坝；堤坝上用沙袋筑子堤加高，防止洪水漫顶；打桩加固，增加沙袋和土方，使崩岸的堤坝可以加厚，抗御上涨的洪水对堤坝的压力；堤坝的后方有浑水管涌时，通过沙袋围堵压住漏口，

放沙袋压管涌出口，防止堤坝整体溃决；决堤救援时，使用两头机械推土石筑堤修复，合拢时中间用石头重物堵决口。二是台风救援。参加台风及其次生灾害救援，突出是防止高空坠物和清理城市倒塌树木等道路障碍，其他山洪内涝抗洪行动要求相同。

### 3.3.3 协调地方部门救援

（1）调机械设备到场。要利用现代装备防汛抗洪，通过科技手段止损抗灾。要通过党政指挥部，第一时间调用辖区市政、大型国企、农业、水利、住建和安能集团各种重型设备到场救援，全面提高救援效率。

（2）守道路积水入口。要吸取北京 2012 年“7.21”洪灾隧道亡人和郑州 2021 年“7.20”洪灾京广快速北隧道和地铁 5 号线教训，对于城市隧道、桥梁涵洞、地铁等浸水道路入口，第一时间调集城管和交警进行守护管控，防止暴雨台风、内涝情况下车辆驶入淹亡。同时不断筑堤防护，减少洪水流入。

（3）保民生重点运转。在台风和强降雨后，城市建筑地下室极易同郑州“7.20”水灾一样浸水，造成供电、通信设备损坏，出现城市停电和大楼断电，造成城市瘫痪。对于通信、发电、医院、燃气等民生重点单位设施，平时准备沙袋，暴雨时组织物业保安，同步用沙袋封堵地下库入口，保障汛期不瘫痪。

## 4 强化行动安全

抗洪安全管控难度大，关键在重视，重点在规范，核心在科学，难点在落实。



#### **4.1 统一指挥，设哨管控**

水域救援必须强化统一指挥，以作战力量编成为编组，集体作业，不得擅自行动。在救援区域适当位置多点设置安全员（哨），对水域救援情况进行全程观察，并逐一对进入水域作业的舟艇性能、人员防护、遂行器材等进行安全检查，发生事故及时施救，进行管控。严格禁令纪律，坚决执行水域救援“不会游泳不下水、不着灭火服抗洪”等“五个绝不允许”要求。

#### **4.2 防止溃堤，防电防跌**

一是防止溃堤。制定决堤、滑坡、洪峰、湍流等紧急情况下撤退或避险措施。组建紧急干预机动分队，遇有突发情况，迅即赶赴现场处置险情。二是防电防跌。涉水行动时要注意避开带电设备和线路以及水面下的沟槽、窨井、洞穴等危险部位，接近建筑时要警惕高空坠物、构件不稳定倒塌等，防止发生触电、跌落、倒吸、击伤等险情。

#### **4.3 牢固支点，防止倾覆**

一是牢固支点。激流或孤岛救人行动中，穿越水流时，要充分研判洪水的流速、流向以及暗流、漩涡等情况，绳桥的架设和锚点的设置要有效利用地形地物，并采取双重保护措施，确保牢固可靠。二是防舟倾覆。在进行急流、山洪抗洪救援时，要尽量使用冲锋舟，橡皮艇马力较小，一次营救人员较少，容易倾覆。舟艇要尽可能使用 60-80 马力舷外机，少使用 40 马力的舷外机。对于螺旋桨被缠绕或驶过急流或滚水坝时，要正对波浪或堤坝驾驶舟艇，防侧面迎浪倾覆。舵手要控航速、缓转弯，带舟指挥员要带向导坐舟头，指挥被救群众平衡端坐，避开旋涡、急流、水下电线等障碍，失去动力时急用撑杆支

撑船体，保持平衡不倾覆。

#### **4.4 组合装备，安全行进**

一是组合装备。水域救援个人防护设备要齐全，组合冲锋舟、救生衣、手持台、发电机、帐篷、破拆设备、救生抛投器，还有水陆两栖气垫船、声呐探测设备、水下机器人救生；用大型排涝机械、远程供水设施、龙吸水设备等排涝。二是安全行进。跨区域增援要编队行进，互相照顾，互为呼应。可以以支队为单位，编队行进，重型队和轻型队、战勤保障编队宜用运兵车运送，不能完全靠消防车运兵，运输效率比较低，惯性思维要进行改变。

#### **4.5 全员游泳，实战训练**

一是全员游泳。游泳训练是基本体能训练，每名消防员在第一年入队集训时，都要全员学会蛙泳、仰泳，学会驾驶冲锋舟和橡皮艇，开展绳索救生等科目训练，只有平时知水、会水，才能战时安全有序、成建制全员安全抗洪。二是实战训练。必须立足复杂抗洪救援实战任务需要，强化“绳索救生、急流驾舟、沸腾线自救互救、堤坝排险”等实战化训练，完善和改进训练体系，组建专业化抗洪救援队伍。

# 全氟己酮应用技术研究

王忠<sup>①</sup> 刘苑<sup>②</sup>

**摘 要：**受世界环境保护公约《蒙特利尔议定书》基加利修正案及“双碳”政策影响，七氟丙烷和六氟丙烷等氢氟烃类灭火剂从 2024 年开始限制使用，气体灭火逐步更新换代，全氟己酮灭火技术将成为主流。全氟己酮具有冷却降温、隔离窒息、化学抑制等多项灭火作用；对人安全、对设备无害、洁净环保等众多优势；适用范围广，灭火效率高，是世界公认最有效的灭火剂之一。在火灾防控方面具有目前常用气体灭火不具备的优势，拥有良好的市场发展前景。

**关键词：**消防 全氟己酮 火灾防控 应用技术

全氟己酮分子式  $C_6F_{12}O$ ，2001 年由美国 3M 公司首先作为灭火剂使用，在此之前一直用作精密电子产品清洗剂。被 NFPA2001 版标准收录为洁净气体灭火剂，3M 商品名为 Novec1230，美国消防协会相关标准中的代号是 FK5112，是目前最有效的灭火剂之一。2004 年全氟己酮被美国《时代周刊》评为最佳发明之一，被誉为是一种可完全替代哈龙且能长期使用的灭火剂。其性能和优势早已得到欧美等众多国家和地区的认可，应用已经比较广泛。受多种因素影响，国内行业规模化应用刚刚起步。

## 1 环保政策影响

洁净灭火剂更替的主要原因不仅仅是灭火效率，很大程度是由于环境保护需要。2001 年公安部消防局发布了《关于进一步加强哈龙替代品及其替代技术管理的通知》（公消[2001]217 号文），哈龙灭火剂因消耗臭氧层被禁用。从上世纪九十年代中期起，以七氟丙烷和 IG541

等为主的洁净灭火剂开始大规模应用。虽然七氟丙烷不消耗臭氧层，但温室潜能值较高（GWP3220），大气留存时间长，会引起全球气候变暖，只能作为过渡性哈龙替代物。2021 年《〈蒙特利尔议定书〉基加利修正案》对我国生效，2024 年我国开始加强对包括七氟丙烷和六氟丙烷在内的非二氧化碳温室气体的管控，洁净灭火剂又面临着更新换代。2023 年 12 月 29 日，国务院总理李强签署《国务院关于修改〈消耗臭氧层物质管理条例〉的决定》（国务院第 770 号令），将氢氟碳化物纳入了受控清单。2024 年 1 月 11 日，生态环境部受理并公示了 2024 年度氢氟碳化物生产、进口配额的申请，包括在用的七氟丙烷和六氟丙烷气体灭火剂。



2022 年 12 月，3M 公司发表计划退出被称为“永久化学品”的全氟及多氟烷基物质（PFAS）的生产，并将于 2025 年底前在其产品组合中停止使用 PFAS，由此引发了全氟己酮是否属于 PFAS 的议论。全氟己酮属于易分解的氟碳化合物，光解是全氟己酮从大气中去除的主要机制，大气寿命仅为 5.1 天，不具有生物蓄积性。该产品未列入美国环保局具有生物蓄积性风险的 PFAS 化合物清单。我国全氟己酮在生产过程中，原料和添加剂都未用到任何高生物蓄积性的 PFAS 产品，

废液排放也符合环保要求。美国斯图尔特市对 3M 公司的指控，主要指其生产销售含有 PFAS 的消防泡沫，污染了当地土壤和地下水。PFAS 类物质中，以 PFOA 和 PFOS 等少部分为代表，具有很高的生物累积性和不可降解性，如不粘炊具涂层、去污剂、消防泡沫等。目前我国消防严格管控和即将淘汰的水成膜泡沫灭火剂，其使用的氟碳表面活性剂是典型的 PFOS 类物质。

## 2. 全氟己酮特性

全氟己酮，常温常压下为透明、无色、无毒液体，凝固点-108℃，沸点 49℃，遇热迅速气化，相变过程吸热降温，速度是水的 50 倍，臭氧损耗潜能值 ODP 为 0，温室效应值 GWP 小于 1。可扑灭 A、B、C、E、F 等多类火灾。2001 年美国 3M 公司首先作为灭火剂使用（Novec1230），被誉为是一种完全可替代哈龙且能长期使用的灭火剂。具有灭火浓度低（4.0-6.0%）、绝缘性强（大于 110kV）、安全系数大（NOAEL>10%）、对人安全（见表 1）、洁净环保（见表 2）、降温速度快、对电子精密设备无损伤等众多优势。特别适用于保护贵重、带电设备、灭火后不能有二次污染以及有人值守的场所。

| 全氟己酮灭火剂安全值                                                                                                         |                      |                   |               |                |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|-------------------|---------------|----------------|
| 气体灭火剂                                                                                                              | 全氟己酮<br>$C_6F_{12}O$ | 七氟丙烷<br>HFC-227ea | 惰性气体<br>IG541 | 二氧化碳<br>$CO_2$ |
| 使用浓度                                                                                                               | 4.0-6.0%             | 7.5-8.5%          | 36.5-40.3%    | 30-75%         |
| NOAEL                                                                                                              | 10%                  | 9%                | 43%           | <5%            |
| 安全值                                                                                                                | 71-122%              | 5.9-20%           | 7-18%         | 使用浓度致命         |
| 1、根据A类-B类(正庚烷)燃烧物的设计使用浓度<br>2、无毒性反应:心脏敏感性没有明显观察到有害作用的浓度<br>3、安全值(安全余量) = $\frac{NOAEL - \text{使用浓度}}{\text{使用浓度}}$ |                      |                   |               |                |

表1

| 全氟己酮环保性                                                                                       |          |        |      |      |      |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|----------|--------|------|------|------|
| 气体灭火剂                                                                                         | 全氟己酮     | 哈龙1301 | 七氟丙烷 | 六氟丙烷 | 惰性气体 |
| 臭氧层损耗值(ODP)                                                                                   | 0        | 12     | 0    | 0    | 0    |
| 温室效应值(GWP)                                                                                    | $\leq 1$ | 1300   | 3220 | 9400 | <1   |
| 大气残存时间(年)                                                                                     | 0.014    | 65     | 36   | 226  | -    |
| 国际气体限用新规                                                                                      | 未列入      | 已禁用    | 被列入  | 被列入  | 未列入  |
| 1、国际HFC气体递减协议(International HFC Phase-Down arrangement)、欧洲F-气体管控法规(European F-Gas Regulation) |          |        |      |      |      |

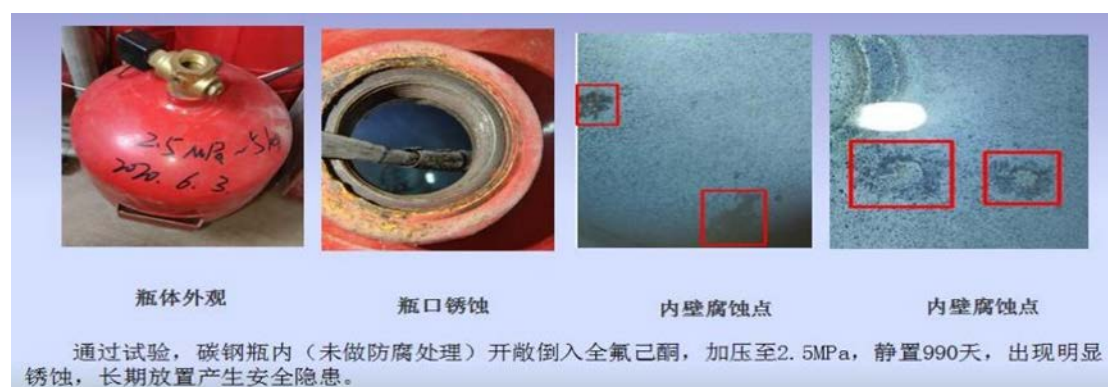
表2

全氟己酮灭火机理是通过物理和化学两方面作用：一是冷却灭火。液体灭火剂经雾化后遇热汽化，吸热降温，产生冷却作用灭火；二是窒息灭火，全氟己酮比空气重，可以覆盖隔绝氧气窒息灭火。三是化学抑制灭火，全氟己酮在高温下（600℃左右）产生分解，捕捉燃烧产生的自由基，终止链式反应灭火。

### 3. 关键技术研究

全氟己酮火灾防控技术在实际应用中需要两项关键技术来保证产品质量和灭火效果。一是封闭灌装技术；全氟己酮最大特点是易吸收水份，如果在灌装过程中不采取有效措施，即使是空气中的少量水分也会被吸收，长期放置会产生酸性物质腐蚀容器、配件，造成危险。国家标准《全氟己酮灭火剂》（报批稿）参编单位做了类似实验，证明“充装过程的不规范可能引入杂质和水分，与水反应产生腐蚀性的有机酸，进而会增加全氟己酮的腐蚀性，加剧储存乃至

应用风险”，并提出“全氟己酮灭火剂的充装是影响安全应用的关键环节”。我们的研究团队进行了更加深入的实验：在未经防腐处理的碳钢瓶内开敞注入全氟己酮，加压至 2.5MPa，静置 990 天后，瓶体内部出现了几处明显的锈蚀。结果如下图：



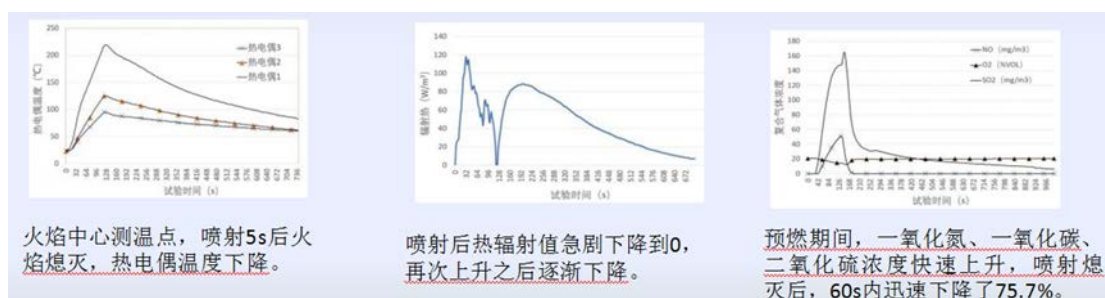
二是喷头雾化技术。全氟己酮常温常压下是液体，需要通过一定的雾化和短时间内达到一定的浓度才能发挥最佳灭火效果。对于不同保护场所应配置不同压力、流量、雾化程度的喷头，特别是全淹没系统应用时要求 10s 内喷完，需配套大流量雾化喷头。这就要求配套专用喷头既要有雾化功能，还要有相应流量。目前喷头主要有离心雾化型和撞击雾化型，为保证一定的灭火浓度流量，较大空间可选用撞击雾化型，小空间宜采用离心雾化型喷头。

无喷头药剂灭火实验：在燃烧的木垛火上方，使用容器直接倾倒全氟己酮药剂，火苗瞬间变小，停倒药剂后 2s 火苗恢复原状，实验两次均未能扑灭木垛明火（如下图）。这是由于全氟己酮以普通液柱或大液滴的方式释放到着火点时，由于比面积小，无法迅速汽化扩散起到降温和覆盖隔离作用。由此证明如果不采用专用雾化喷头，不仅会影响灭火效果，甚至难以灭火。





电气开关柜内电缆火灾实验：在标准的电气开关柜内进行的电缆火灾实体试验表明，全氟己酮采用专用喷头雾化喷射后，可在 5s 内熄灭电缆明火。能够快速熄灭电气开关柜火焰，降低柜内空间的温度和热辐射值，快速降低一氧化氮等有毒有害气体浓度。结果如下图：



由于目前标准尚不完善，国内市场不够规范，全氟己酮行业火灾防控产品五花八门、良莠不齐。有的直接用七氟丙烷装置灌入全氟己酮，就称之为全氟己酮灭火系统；有的不考虑空间大小，不核算药剂用量，达不到灭火浓度；多数不具备封闭灌装能力，生产采用开敞式灌装，无法控制含水率，为产品埋下安全隐患。

#### 4. 相关技术标准

目前我国全氟己酮已经实现了量产，相关标准也在陆续出台。目前国内外标准主要有：国际标准《气体灭火系统物理性质及系统设计



第 5 部分:FK-5-1-12 灭火剂》ISO 14520-5；美国消防协会标准《洁净灭火系统》NFPA®2001；地方标准《全氟己酮灭火系统设计施工验收规范》DB37/T 3642-2019、《预制式全氟己酮智能灭火系统设计、施工及验收规范》DB34T4353-2022、《全氟己酮灭火系统应用技术标准》DB22/T 5141-2023；团体标准《预制式全氟己酮灭火装置》CECS10171-2022，和国家标准《全氟己酮灭火剂》（报批稿）；中国消防协会《全氟己酮灭火系统技术规程》（报批稿）。

目前山东省具有了较完备的工程应用依据，形成了地方标准设计施工验收规范、设计图集和住建厅消防设计审查验收技术指南等标准体系，为工程全方位应用打下了良好基础。



在全国首个地方标准 DB37/T 3642-2019 编制期间，山东地方标准编制组、省消防救援总队和国家消防及阻燃产品质量检验检测中心联合组织大型实体全淹没灭火实验。参照《气体灭火系统及部件》试验方法，在 100m<sup>3</sup> 标准实验室，A 类木垛火室外充分预燃 6 分钟后移入实验室，并点燃上下各四个角落和挡板后共计 9 个 B 类燃料罐。自全氟己酮灭火剂从喷头喷出开始至 A 类木垛明火熄灭时间为 9S，喷射结束后 10min 不复燃；B 类正庚烷明火熄灭时间为 6S。该系统获得

了山东省首届创新消防产品评比第一名。

实验过程如下图：



中国消防协会正在制订的《全氟己酮灭火系统技术规程》，对全氟己酮应用关键技术进行了规范要求，主要包括以下几个方面：

- (1) 强调了全氟己酮灭火装置灌装过程含水率控制；
- (2) 规定了全氟己酮灭火系统（装置）的选用原则；
- (3) 明确了灭火系统喷头设置高度和保护范围等参数；
- (4) 细化了灭火系统适用的场所、部位、设计浓度等；
- (5) 设定了维护保养项目和重要部件的报废条件。

该标准采用的技术参数经过了实际试验或借鉴国内外相关标准。

## 5. 主要应用型式

针对不同的场所和使用需求，选择不同型式产品类型。既可全淹没应用，也可局部应用，适用于多个行业领域。其应用形式一般分为管网式、预制式和移动式等。（如下图）



### 5.1 管网式灭火系统

适用于较大空间或多个相邻防护区的保护。以全淹没系统灭火实验为例：参照《气体灭火系统及部件》实验方法，在 100m<sup>3</sup> 实验室内进行实验，自灭火剂喷放至 A 类木垛明火熄灭仅为 9s，喷射结束后 10min 不复燃；B 类正庚烷火熄灭仅为 6s。

### 5.2 预制式灭火装置

适用于中小空间防护或保护区域相对分散的场所，可直接放置于保护区内，无需敷设管道，应用灵活，安装简便。

以柜式装置灭火实验为例：采用 100m<sup>3</sup> 标准实验室，A 类木垛火自灭火剂喷射 5s 灭火，扑灭明火后，继续抑制 10min，开启实验空间通风，木垛未发生复燃；B 类油盘火自喷射 3s 灭火。

### 5.3 电气柜（数据柜）灭火装置

多数电气火灾发生在柜体内部，由于相对封闭。建筑消防设施无法及时发现火灾发生，而外部的灭火系统释放的灭火剂难以进入内部，造成火势蔓延。电气柜（数据柜）灭火系统一体化设计，占空间小，安装便捷，具有声光报警、信号反馈，可直接设置在设备内。

电气柜火灾实验：A 类木垛火自喷射起 4s 灭火，继续抑制 10min，

未发生复燃；B 类油盘火自喷射起 2s 灭火。

#### 5.4 移动式灭火装置

设置精密仪器、贵重设备、带电设备的洁净厂房、实验室等场所，初期火灾可利用移动式灭火装置进行扑救；如手提灭火器、背负式灭火装置等，应用便捷灵活。



#### 5.5 储能电站（舱）灭火抑制装置

近年电化学储能大量采用全氟己酮灭火系统，2021 年研究团队首先提出了多次间歇喷射抑制锂电池火灾的理念，12 月获得国家专利授权。2022 年 5 月《储能科学与技术》杂志特约文章《2021 年中国储能技术研究进展》，也提出了全氟己酮间歇喷雾冷却，比一次施加更有效地降低电池温度，减少 CO 和 CO<sub>2</sub> 的产量并降低热释放速率，能够有效地抑制扑灭锂电池火灾。

2024 年 10 月 3 日实施的山东省地方标准《预制舱式储能电站设计规范》规定了模块级防控，利用早期探测，自动降温抑制；首次喷射应 30s 内扑灭明火，并具有间歇喷射以及持续降温功能。

目前已取得的研究成果专利如下：

|    |                   |            |                          |
|----|-------------------|------------|--------------------------|
| 1  | ZL-201911324310.8 | 2019-12-20 | 一种封闭式全氟己酮灭火剂灌装方法（发明）     |
| 2  | ZL-201711478335.4 | 2017-12-29 | 一种悬挂式全氟己酮自动灭火系统（发明）      |
| 3  | ZL-201810048150.8 | 2018-01-18 | 一种自动搜索定位可移动全氟己酮灭火系统（发明）  |
| 4  | ZL-201711474921.1 | 2017-12-29 | 一种客车客舱用固定式全氟己酮自动灭火系统（发明） |
| 5  | ZL-201930236171.8 | 2019-05-15 | 全氟己酮固定灭火系统专用喷头           |
| 6  | ZL-201721920167.5 | 2017-12-29 | 一种悬挂式全氟己酮自动灭火系统          |
| 7  | ZL-201721920099.2 | 2017-12-29 | 一种客车客舱用固定式全氟己酮自动灭火系统     |
| 8  | ZL-201820082506.5 | 2018-01-18 | 一种自动搜索定位可移动全氟己酮灭火系统      |
| 9  | ZL-201820705305.6 | 2018-05-11 | 一种新型全氟己酮组合分配自动控制式灭火系统    |
| 10 | ZL-201820705390.6 | 2018-05-11 | 一种新型固定式压缩气体泡沫自动灭火系统      |
| 11 | ZL-201820834656.7 | 2018-05-31 | 一种手提式全氟己酮灭火装置            |
| 12 | ZL-201820834654.8 | 2018-05-31 | 一种全氟己酮复合式自动灭火系统          |
| 13 | ZL-201820833772.7 | 2018-05-31 | 全氟己酮快速降温灭火弹              |
| 14 | ZL-201920047221.2 | 2019-01-11 | 一种支架式全氟己酮自动灭火系统          |
| 15 | ZL-201920048191.7 | 2019-01-11 | 一种全氟己酮电池仓灭火系统            |
| 16 | ZL-201920611799.6 | 2019-04-30 | 一种智能灭火机器人                |
| 17 | ZL-201921989257.9 | 2019-11-18 | 一种多元化全氟己酮灭火系统            |
| 18 | ZL-201921989260.0 | 2019-11-18 | 一种变压器综合式火灾防控系统           |
| 19 | ZL-202020274021.3 | 2020-03-09 | 一种适用于灭火系统启动装置的独立电源       |
| 20 | ZL-202121047388.2 | 2021-05-17 | 一种适用于储能电站火灾防控的消防系统       |
| 21 | ZL-202220187718.6 | 2022-01-24 | 一种数据机柜精密电气柜内置全氟己酮自动灭火装置  |

## 6 行业应用研究

基于全氟己酮灭火剂的高效、无毒、绝缘、洁净等特点，可广泛



应用于文博、医疗、电力、交通、监控中心等有重要价值、设备精密、带电运行或有人值守的场所。部分重点场所应用如下。

### 6.1 文博场所

文物建筑和博物馆藏品是宝贵的文化遗产，一旦发生火灾会造成难以挽回的损失。但文博行业的消防安全保护又有其特殊性，一是泥塑、壁画、纸张和纺织物不能用水、泡沫、干粉等灭火，会被污染破坏；二是大部分文物建筑和博物馆游客较多，不能用七氟丙烷、二氧化碳等安全余量低的气体灭火，容易造成人员伤害；三是设置固定灭火系统过程中，不能破坏文物本体。全氟己酮灭火技术是通过迅速汽化降温灭火，对泥塑、纸张、丝织物、壁画、木材等材料不腐蚀、无污染，对人无毒害，可以应用于有人、珍贵文物存放的文博场所。采取预制式灭火装置，直接设置在保护区域内，无需铺设管网，可避免破坏文物本体，实现对文物建筑和珍贵藏品的保护。



### 6.2 电化学储能行业

近几年电化学储能电站发展迅速，但由于事故频发，伤亡损失惨重，安全问题已成为储能产业面临的瓶颈。锂离子电池热失控会产生有毒和可燃气体，在火灾扑救过程中会发生爆炸事故，温度高易复燃。根据火灾科学国家重点实验室和国内外对锂电池火灾扑救的研究表明，单一灭火剂对储能电站火灾扑救全氟己酮是最有效的，既能够快速扑灭明火，又有较好的吸热降温作用，还可以惰化锂电池热失控产生的易燃易爆气体。针对储能电站火灾，全氟己酮灭火装置能够实现重复启停，间歇式喷放，具备灭火和抑制作用，形成有效保护。



### 6.3 调度指挥中心

调度指挥中心是信息处理、监视和控制的中心机构，根据事态变化进行实时判断、决策和指挥，为保障生命财产和系统安全运行起到重要作用。中心内设置有各种通信、监控、操控等装置设施，电气线路密布，贵重精密仪器设备较多，而且需要 24 小时有人值守，进行日常监督管理和紧急操作控制的各项工作。这类场所需要有人值班且设备贵重，因此不能用水、七氟丙烷等常见灭火技术扑救，可利用全氟己酮灭火技术无毒、绝缘、洁净的特点进行有效解决。



## 6.4 医疗卫生行业

医院作为人员密集场所，病人及陪护人员数量众多。随着科技发展和社会进步，人们对身体健康和医疗保障的需求越来越高，医院的医疗设备也随之越来越精密贵重，如CT、直线加速器等，少则几百万，多则上千万，并且就诊人员在治疗过程中，多数行动不便，一旦发生火灾，无法及时撤离。由于这类场所经常有人滞留、设备贵重，因此不能用水、七氟丙烷等常见灭火技术扑救，可利用全氟己酮灭火技术无毒、绝缘、洁净的特点进行有效解决。

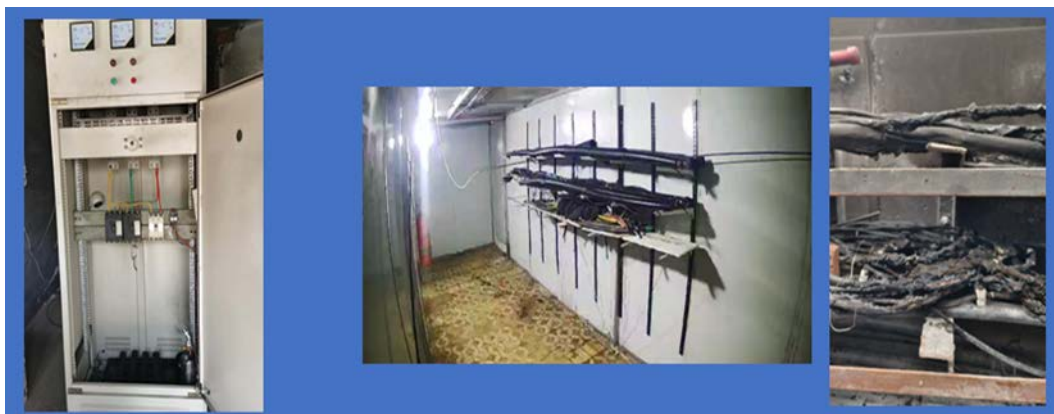


## 6.5 高铁轨交行业

公交车、高铁、地铁等车辆客舱相对封闭，人员密度大，一旦







天雷 220kV 变电站高压柜内部可用空间较大，系统整体安装在柜体内。



箱内安装 110kV 变电站高压柜内部设备较多，可用空间较小，因此将天火系统分开设置。在每个高压开关柜内仅安装火灾探测器和全氟己酮灭火头，灭火剂储存容器放置于地下室内，通过高压软管和控制线连接。



**评价单位意见**

全氟己酮自动灭火系统，分别于 2020 年 8 月和 12 月安装调试完成。至今运行良好，该系统安装形式灵活，具有早期探测报警，快速降温灭火功能，能够有效扑救电气柜内部火灾，适用于输变电领域火灾防控，该系统达到国内领先水平。



2021 年 10 月 9 日

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                           |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|
| 项目名称                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 输变电设备火灾防控关键技术研究           |
| 项目编号                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 国网山东省电力公司科技项目 (2021A-077) |
| 承担单位                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 国网山东省电力科学研究院              |
| 研究时间                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 2020 年 1 月~2021 年 12 月    |
| <b>项目简介</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                           |
| <p>变压器和输电线路在输变电系统中发挥着重要作用。由于设置场所相对封闭，隐蔽性强，是电气火灾的高风险区。而且变压器、电缆带电运行，应确保火灾扑灭的高效精准、快速降温和良好绝缘。本项目是国网山东省电力公司 2021 年第一批科技项目，利用全氟己酮灭火系统所具有的天火效率高、绝缘性强、洁净环保的特点，开展变压器和输电线路火灾的火灾防控技术研究。该项目由国网山东省电力公司电力科学研究院牵头组织，山东天康达安消防科技有限公司负责试验平台建设，全氟己酮灭火系统的设计、安装以及灭火维保工作。项目依托电缆沟、电缆隧道和变压器室三个火灾场景分别进行了火灾扑救抑制试验。</p> <p><b>一、电缆沟火灾扑救抑制技术研究</b></p> <p>模拟试验平台：尺寸为长 4m×宽 0.8m×高 0.8m，体积为 2.6 立方米。电缆沟分三层通过电缆支架铺设于沟内侧壁；采用 1 套 DQF4.2/40N-50TKD 全氟己酮灭火系统，火灾试验浓度为 6%。明火预燃 2 分钟后启动灭火系统，自启动开始喷放至 3 秒时停火明火，将喷放持续时间 5 秒，抑制 10 分钟未发生复燃。</p>  <p style="text-align: center;">电缆沟火灾模拟实验场景照片</p> <p><b>二、电缆隧道火灾扑救抑制技术研究</b></p> <p>模拟试验平台尺寸为长 7m×宽 2m×高 2m，体积为 28 立方米。隧道三层电缆支架，分别距地 60cm、90cm 和 120cm，在每层铺设电缆系统，采用 1 套 DQF4.2/40N-50TKD 全氟己酮灭火系统，通过管网连接 6 处喷头喷放，火灾试验浓度为 6%。明火预燃 2 分钟后启动灭火系统，自启动开始喷放至 8 秒时停火明火。</p> |                           |

## 6.7 既有建筑改造

为适应城市发展新形势新要求，统筹发展和安全，2021 年 6 月至 2022 年 6 月住房和城乡建设部在北京、广州等 31 个市县开展既有建筑改造利用消防设计审查验收管理试点，各地也陆续出台了相关设计审核指南。但既有建筑改造中大量建筑不具备设置消防水池、高位水箱、大面积铺设管网等条件。历史建筑则要求更为苛刻，大多耐火等级低、远离消防水源，还要避免破坏建筑本体。全氟己酮火灾防控技术结合无线报警技术，可以很好解决这一问题。

## 6.8 飞机舰船应用

目前军用飞机、舰船等的特殊的部位（如主、副机舱、武备贮存舱）仍在使用的哈龙 1301（部分货船采用 CO<sub>2</sub> 灭火系统，2019 年 5 月“金海翔”号货轮在威海发生了灭火系统泄漏，导致 10 死 19 伤），这些系统均可以用全氟己酮替代。利用全氟己酮的快速降温、灭火、安全、抑爆的优势，还可用于雷达车、装甲车等军事装备。

## 6.9 消防车辆装备

当小型移动灭火装置容量有限，无法满足灭火需求时，也可考虑全氟己酮消防车。对于内部设施设备比较贵重、精密、带电等特殊重要场所，不能用水、泡沫、干粉等常规灭火剂扑救，以及平时无人值守，难以及时发现处置，易导致火势蔓延扩大的场所；或者人员无法进入、危险性较大的，可使用消防机器人进行巡检，自动探测、寻找火点，精准扑救。

## 7 发展前景展望

全氟己酮应用技术符合《消防设施通用规范》和《建筑防火通用规范》理念，利用有效的灭火与火灾报警等设施，控制和扑灭火灾。该技术不局限于常规灭火，可根据特殊需求定制研发，利用其特性进行冷却降温、惰化抑爆、火灾防控等，也可结合新型火灾探测、智能分析等技术，构成一体化解决方案。

随着对环境保护的关注，我国接受《基加利修正案》加强温室气体管控，以及“双碳政策”的实施，全氟己酮火灾防控技术的应用具有更重要的战略意义，也将迎来良好的发展机遇。

### 参考文献

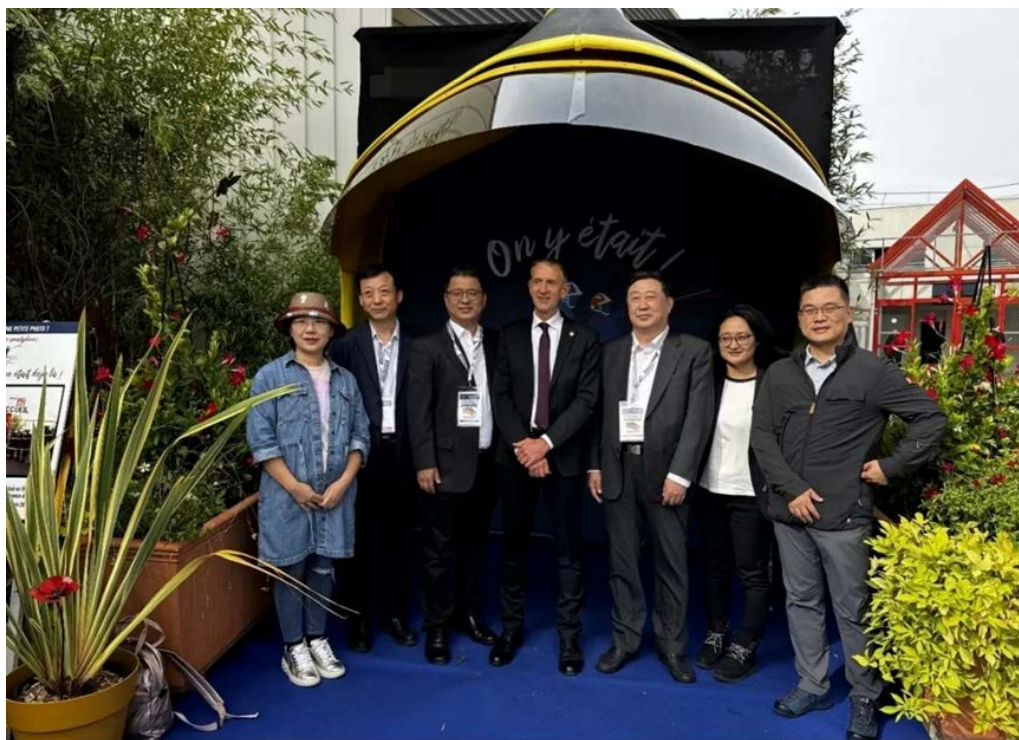
- [1] 《Part 5: FK-5-1-12 extinguishant》 ISO 14520-5-2016
- [2] 《Clean Agent Fire Extinguishing Systems》 NFPA 2001
- [3] 《建筑防火通用规范》 GB55037-2022
- [4] 《消防设施通用规范》 GB55036-2022
- [5] 《建筑设计防火规范》 GB50016-2014（2018年版）
- [6] 《气体灭火系统设计规范》 GB50370-2005
- [7] 《全氟己酮灭火系统设计、施工及验收规范》 DB 37/T 3642—2019
- [8] 《储能电站消防安全现状及火灾防控对策探析》王忠《中国消防》2021年第5期P62
- [9] 《全氟己酮应用技术研究》王忠（2024中国消防协会科技年会报告）

## 【国际交流】

### 中国消防协会组织会员单位赴法参加法国消防安全会展

法国总理米歇尔·巴尼耶、  
内政部长尼古拉斯·达拉贡出席展会

2024 年 9 月 23 日至 29 日，中国消防协会组织会员单位赴法国马孔（法国勃艮第大区索恩-卢瓦尔省首府）参加由法国消防协会（FNSPF）主办的第 130 届法国消防安全会展。观展期间，与法国消防协会、法国消防行业联合会、国际消防救援联盟进行了业务交流会谈，开展了 2025 年中国国际消防展招展宣传，参团会员单位分别与相关展商进行了技术交流和经贸洽谈，圆满完成工作任务。



#### 一、法国消防安全会展基本情况

法国消防安全会展由法国消防协会主办，每年举办一次，由各省级政府和省消防总队在法国各地竞争轮流承办，今年的展会由索恩省政府和索恩省消防救援署承办。该会展历史悠久，今年举办的是第 130 届。法国消防协会成员是全国的各类消防员（包括职业消防员、志愿消防员、青少年学生消防员、退役消防员、行政及技术人员等），该展会又被称为每年一度的全国消防员大会。展览内容以消防车辆、救援装备、通讯指挥、消防员个人防护装备等消防队使用的设备为主。今年展览同期，还举办了法国消防员全国代表大会（即法国消防协会年会）、青少年学生消防员大会及各类主题研讨会，如今年举办了主题为“人工智能为明天消防员服务”的研讨会。

本届法国安全会展于 9 月 25 日开幕，法国消防协会会长让-保罗·博斯兰、索恩省省长、法国民事安全和危机管理总局局长、法国消防行业联合会主席等出席了开幕式。法国总理米歇尔·巴尼耶及总理代表主持了 9 月 26 日举办的法国消防员全国代表大会。法国新任内政部部长尼古拉斯·达拉贡于 9 月 26 日观看了展览。

本届法国安全会展共有约 300 家展商设立了展台，展览总面积约 20000 平方米。参商主要是法国当地和欧洲的消防企业，也有少量美国的消防企业，但未见中国的消防企业参展。





## 二、代表团观展和交流情况

此次赴法观展，是中法两国消防协会签订友好合作协议后，中国消防协会首次派出代表团赴法，法国消防协会对中国代表团非常热情友好。

9月27日，法国消防协会会长让-保罗·博斯兰会见了代表团一行。协会转达了陈伟明会长对法国消防协会博斯兰会长的问候，并邀请法国消防协会派员参加2025年中国消防展，博斯兰会长愉快接受了邀请。双方表示，愿在中法两国消防协会签订的合作协议框架内，进一步加强交流合作。

观展期间，法国消防协会、法国消防行业联合会分别专门安排人员陪同代表团观看了部分重点展台。代表团除与相关企业进行了技术交流外，还与国际消防救援联盟（CTIF）主席米兰·杜布雷维克进行了交流，了解了CTIF业务开展情况，探讨了中国加入CTIF相关事宜。

## 三、收获和体会

（一）法国消防会展官方色彩浓、主题突出、政府重视，是法国

全国消防员的盛会。法国消防协会实际是一个半官方性质的组织，该协会组织的会展官方色彩十分浓厚，且主题突出，展品和技术交流论坛主要服务于全国各类消防员，同期还举办了法国消防员全国代表大会，受到各级政府的高度重视，政府部门和消防部门高官均会参加。历届展会期间，法国内政部长，民事安全与危险管理总局局长、各省市消防局长，各消防学校校长、消防员都会参加展会，主办地政府的行政长官也会出席会展。各省为取得展会的承办权还需要进行竞争。全国的消防员也把展会作为每年一次的交流盛会。观展期间，我们看到展馆内每天都人员爆满，主要观众是法国全国各地的消防员。

（二）法国青少年学生消防员培育工作独具特色。观展期间，我们看到除了消防人员外，每天都有大量的学生有组织的观展。经了解，法国消防协会的会员中，有约 28000 名青少年学生消防员（11 至 18 岁之间），全国每年的消防员招募中，有约 15% 是从青少年消防员产生的。这些观展学生都是青少年学生消防员。他们从小定期接受消防安全教育，参加相关消防培训和活动，将消防安全理念带至每个家庭，并为今后的职业规划打下良好基础，这项工作非常具有特色。

（三）法国消防部门专设展台，与消防企业的联系比较紧密。法国消防会展为消防部门和消防企业搭建了良好交流平台。同时，我们发现该会展与其他消防展相比的一个特点是，除了消防企业的展台外，还有许多消防局、消防学校的展台，推荐与企业联合开发的产品。如，在法国瓦拉布雷（VALABRE）消防培训学校（内政部直属消防学校）的展台上，重点在推介森林火灾直升机模拟操作软件；法国巴黎消防



局的展台上，重点在推介通讯指挥调度系统。由消防部门作为用户推介消防产品，比较有说明力，也充分说明法国消防部门与消防企业的联系比较紧密。



（四）对中国进口消防装备的政策有待加强正面宣传。在观展期间，我们向法国消防行业联合会及相关展商开展了 2025 年中国国际消防展招展宣传工作。值得注意的是，有几家企业明确表示将不再参加中国国际消防展。理由一：说中国政府出台了文件，禁止进口国外消防装备，目前中国已基本没有市场了；理由二：国外新产品进入中国市场后，中国消防企业仿制能力太强。实际上，我国在政策上从来没有禁止过国外消防装备进入中国市场，但对于消防车辆等由中央财政支付购买的装备，如需采购国外产品，需报财政部审批。国外厂商引起误解，既有一些中国代理商因近年来业绩不佳，向国外厂商进行歪曲解读的原因，也有我们对相关政策宣传解释不到位的原因。代表团在观展期间，现场向相关厂商做了解释，同时建议国家相关部门做好政策的正面宣传。

## 【网情问答】

**问：消防无人机在灭火剂喷射过程中情况是怎样的？**

答：在消防领域，无人机快速发展，在火灾扑灭过程中正发挥着日益重要的作用。

### 一、灭火剂喷射

目前无人机在火灾扑灭上以泡沫喷射为主，对于纯水的喷射存在限制，原因主要是水的质量大、喷射后座力强，大流量远射程的使用场景会使无人机在空中无法承受喷射反作用力。若要射远则需缩小枪口减小流量，但这样可能导致水在到达火场前就被气化，无法达到扑灭目的。

在泡沫喷射方面，使用 50 水带条件下，一些无人机泡沫每分钟喷射量为 1800 升，不同高度的湿泡沫射程有所不同，100 米高湿泡沫射程 25 米，150 米中湿泡沫射程 20 米，200 米干泡沫射程 17 米，在 130 米高度喷射 A 类泡沫，混合液流量可达 33 升/秒。

不过，泡沫灭火剂的成本较高，也一定程度上影响了其在消防无人机上的普及率。

### 二、起飞重量与有效载荷

以中岳消防无人机为例，其起飞重量和有效载荷为 150 公斤，其携带的灭火设备、灭火剂等的总量，决定了其灭火能力和作业范围。

### 三、抗风性能

消防无人机的理论抗风能力可达八级风，但在实际应用场景下，

其抗风能力约为五级风。并且在火场特殊环境中，冷热空气的强对流会对无人机飞行造成极大干扰。

#### 四、耐高温辐射能力

除了风力影响，大火中强烈的高温辐射对无人机也是致命挑战，无人机需要具备一定的耐高温辐射能力才能在复杂的火场环境中执行任务。

消防无人机在解决消防员登高作业难题方面迈出了重要一步，尽管目前存在一些技术限制，但随着技术的不断发展，其在消防灭火作业中的应用前景依然广阔，有望在应对初起火灾、外立面火灾和窗前景火等场景中发挥更为关键的作用，未来若能进一步提高灭火剂灭火效能，将为消防事业带来更大助力。

报：中国科学技术协会，应急管理部，国家消防救援局，协会会长、  
副会长，首席专家

发：各位专家委员、专家库成员，协会各部门