

# Selection of Gas Fire Extinguishing System for the Protection Area of No Less than 480V High-Voltage Live Facilities

Ning Li

Email: 1667232860@qq.com

## Abstract

With the popularization and promotion of gas fire extinguishing system, the types of gas fire extinguishing agents are becoming increasingly diversified. Among them, the clean gas fire extinguishing agent with better performance in China has not been applied for a long time, and there is a serious lack of talents who have a comprehensive and systematic knowledge in China. In order to cooperate with the implementation of "Design Specifications of gas fire extinguishing system" and "Specifications for construction and acceptance of gas fire extinguishing system", this paper makes an in-depth study on the selection of gas fire extinguishing system from the perspective of design regulations and the fire extinguishing agent safety.

**Keywords:** High-Voltage Live; Protection Area; Fire Extinguishing System; Selection

## 480V 及以上高压带电设施防护区的气体灭火系统选型

李宁

**摘要:** 随着气体灭火系统的普及和推广, 气体灭火剂种类日益多样化, 其中性能较好的洁净气体灭火剂在国内应用时间相对较为短暂, 并且国内严重缺乏全面系统掌握该方面知识的人才, 为了配合《气体灭火系统设计规范》及《气体灭火系统施工及验收规范》的贯彻实施, 本文主要从设计规定、灭火剂的安全性角度对气体灭火系统选型展开深入研究。

**关键词:** 高压带电; 防护区; 灭火系统; 选型

### 1 概述

我们在对带电设施及电子设备类型的防护区进行洁净气体灭火系统设计时, 往往对于洁净气体灭火系统的选型感到困惑, 本文中我们仅以 FMDS (FM 保险人互投组织数据报告) 对带电设施防护区的相关规定, 和 NFPA (美国国家防火协会) 相关规定为基础, 针对目前使用最广泛的两种灭火系统进行比较说明。

### 2 设计相关规定

在《FM 全球财产损失预防数据报告-卤代烷烃及惰性气体即洁净气体灭火系统》的 2.2.2.2 中规定了带电设施及电子设备的最小设计浓度, 见表 1。

以 HFC-227ea (七氟丙烷即 FM-200) 和 IG-541 (烟烙烬) 为例, 在灭火时不断电的防护区, 当电压 <480V 时, 最低设计浓度分别为 7% 和 38.8% (见表 1); 当电压 ≥480V 时, 最低设计浓度分别为 12% 和 57%。两种灭火剂在高电压区域的设计浓度都远大于在较低电压区的浓度。这与高能量电弧故障火需要更高的灭火剂浓度才能得到有效抑制有关。

表 1 灭火剂最低设计浓度

| Agent     | Minimum Design Concentration, % |                      |                    |                                   |
|-----------|---------------------------------|----------------------|--------------------|-----------------------------------|
|           | Class A                         | Class B <sup>1</sup> | Class C,<br><480 V | Class C,<br>≥480 V <sup>2,3</sup> |
| FK-5-1-12 | 4.5                             | 5.9                  | 4.5                | 10                                |
| HFC-125   | 9.7                             | 11.3                 | 9.0                | 20                                |
| HFC-227ea | 6.7                             | 8.7                  | 7.0                | 12                                |
| HFC-23    | 18                              | 19.5                 | 20.3               | Not tested <sup>3</sup>           |
| IG-01     | 38.0                            | 52.5                 | 42.8               | Not tested <sup>3</sup>           |
| IG-55     | 37.9                            | 39.1                 | 42.7               | Not tested <sup>3</sup>           |
| IG-100    | 37.2                            | 43.7                 | 41.9               | Not tested <sup>3</sup>           |
| IG-541    | 34.2                            | 40.6                 | 38.5               | 57                                |

### 3 灭火剂的安全性

#### 3.1 有人常驻空间的判定

在无人常驻空间内，设计浓度可以高于 LOAEL；而在有人常驻空间，灭火剂浓度应该不高于 NOAEL。NOAEL 和 LOAEL(分别是无毒性影响最高浓度和有毒性影响最低浓度)

同时，FMDS 在 A3.3.27 条中定义了特殊的有人常驻空间，那些通常被视为无人员常驻的，但是有人员偶尔进入的空间，比如变压器间、开关室、泵房、金库、发动机试验台、电缆桥架、隧道、微波中继站、易燃液体储存区，以及封闭式能源系统，都应该被视作有人区域。可见，480V 及以上的高压配电间属于有人区域。

#### 3.2 与安全相关的参数

##### 3.2.1 NOAEL 和 LOAEL(无毒性影响最高浓度和有毒性影响最低浓度)

通常 NOAEL 被视为有人常驻空间所可以使用的最高设计浓度值，以保证人员在其环境下可以较长时间安全停留；高于 LOAEL 的设计浓度，通常只允许被使用于无人常驻空间。

对于卤代烷烃物质，NOAEL 和 LOAEL 都是基于毒理学的心脏毒性致敏反应而言。当一种化学物质导致心脏对肾上腺素的敏感性增加，可导致心脏突然出现不规则心跳和可能的心脏病发作。测量心脏致敏性，令狗暴露于卤代烷药剂 5 分钟。在 5 分钟的时间内，外部注射肾上腺素，如果狗有心脏过敏，则记录。这个在狗身上测得的潜在的心脏致敏水平，对于人体来说是相对保守的指标（即实际人体致敏可能性更低）。

对于 IG541 来说，NOAEL 和 LOAEL 对应的是环境中氧气浓度是 12%和 10%时的浓度，即所对应的 IG541 浓度分别为 43%和 52%时的浓度。

在设计浓度必须要高于 LOAEL 且有人暴露可能的空间，NFPA（美国国家防火协会）规定了相应的最大允许停留时间，见表 2 及图 1。

表 2 NFPA 规定的 HFC-227ea 暴露时间

| HFC-227ea<br>Concentration |         | Maximum Permitted<br>Human Exposure Time<br>(min) |
|----------------------------|---------|---------------------------------------------------|
| vol %                      | ppm     |                                                   |
| 9.0                        | 90,000  | 5.00                                              |
| 9.5                        | 95,000  | 5.00                                              |
| 10.0                       | 100,000 | 5.00                                              |
| 10.5                       | 105,000 | 5.00                                              |
| 11.0                       | 110,000 | 1.13                                              |
| 11.5                       | 115,000 | 0.60                                              |
| 12.0                       | 120,000 | 0.49                                              |

HFC-227ea 在设计浓度为 12% 时，允许停留最大时间为 0.49 分钟，即小于 30 秒。

惰性气体在设计浓度为 52~62% 时，允许最大停留时间同样为小于 30 秒。(见 NFPA2001-18 版 1.5.1.3 条第 3 款)

### 3.2.2 REST (最大允许停留时间)

REST 是 NFPA 内对人员暴露时间的限制规定。其时间长短与设计浓度的取值相关，即设计浓度越大，REST 越小。

某些惰性气体系统厂商在促销时给出了“达到有毒反应最低浓度 LOAEL 所需时间”(以下简称  $T_{loael}$ ) 和“可停留时间”(以下简称  $REST_f$ ) 的概念；并自行定义了“ $REST_f = T_{loael} + REST$ ”的算法；

惰性气体由于其  $T_{loael}$  较长(基于喷射时间较长)，故此在 FMDS 规定的以上两种灭火剂的 REST 同样为小于 30 秒时，得出惰性气体系统的“可停留时间- $REST_f$ ”比 HFC-227ea 系统要长的结论，由此来证明其安全性高于对方，但经过和 FM 机构专业人员沟通及研讨过后发现事实并非如此：

NFPA 规定的 REST 是一个固定的时间值，其时间的长短只与设计时采用的灭火剂浓度参数相关，而与实际喷放时何时达到 LOAEL 浓度无关；其所谓“ $REST_f$ -即实际允许停留时间”与 NFPA 规定的最大允许停留时间概念 REST 相重复并偷换了其概念，使得 REST 由一个固定值变为一个可变量。

在“ $REST_f = T_{loael} + REST$ ”中，其  $T_{loael}$  反应的是与灭火剂喷放状态相关的时间因素；而 NFPA 在规定 REST 时，仅仅以灭火剂设计浓度为考虑因素，即不管灭火剂是否喷放或喷放的快慢，人员进入该空间的允许停留时间都不能大于 30 秒，这个时间是从人员一旦进入该空间时开始计算的，并不是从灭火剂喷放开始计算的。

所谓的“ $T_{loael}$ ”的数值，与该系统的灭火剂用量、管网设计布局、管路长短和直径、喷头布置和孔径均有关系，对于每一个防护区而言都有其独立对应的“ $T_{loael}$ ”，因此每一个防护区的所谓“ $REST_f$ ”也都不相同；另外，该“ $T_{loael}$ ”数值是由水力计算得出，与实际灭火剂喷放时间还存在一定差异(获得 FM 认证的系统，其设计和实际喷放时间的差异在  $\pm 10\%$  之间)；这样看来，停留时间并不是一个确定的数值，这与一个安全限制应有的唯一性和确定性相悖，这并不合理、且不具有可操作性。

另外，REST 的设立是为了减小人员进入设计浓度高于 LOAEL 的空间时所可能承担的风险，REST 不是一个用来衡量哪一种灭火剂可以提供更长的停留时间的参数。而实际上在火灾发生时，过量吸入燃烧产生的有害物质对人体造成的伤害，不允许人员停留(灭火剂喷放前就要求人员尽快 30 秒内撤出)，在火场中每多吸入几秒的燃烧废气，对人体的影响都可能是致命的。而且，REST 的定义也不是指人员在无法撤出情况下的允许停留时间。

由此可见以上所谓“ $REST_f$ ”的说法不能作为评价一个灭火系统安全性的标准，这是我们在系统选型时容易被误导的一个错误说法。

### 3.3 LC50 (半数致死浓度) 和 ALC (估算致命浓度)

$LC_{50}$  是在预定的观察时间内使得 50% 的试验动物致死所需的吸入浓度。 $LC_{50}$  值经常用作评价物质急性毒性的一般指标。ALC 值在这里取用了  $LC_{50}$  值的数据，见表 3 中 HFC-227ea 的 ALC 数值。

HFC-227ea 的  $LC_{50}$  值  $> 80\%$ ，表示试验小白鼠暴露在该浓度下 4 个小时后，有 50% 数量的小白鼠死亡。在 480V 及以上高压配电间的设计中，HFC-227ea 的设计浓度是  $12\% < LC_{50}$  值。

由表 3 可见，HFC-227ea 的设计浓度远低于致命浓度 80%。

WIL 研究实验室的 C.P.Chengelis 在 1994 年六月 20 日代表大湖化学公司提交给英国哈龙替代品组织的“FM200 毒理学评估-背景文件”中给出的试验结论是“FM-200 在 14% 以下对人体无害”。

IG-541 的致命浓度-LC<sub>50</sub> 没有直接数据表明，通常是通过其对应的 O<sub>2</sub> 浓度对人体的影响来进行评估。见表 4.

表 3 HFC-227eaNOAEL, LOAEL 及 ALC

| Agent        | NOAEL (%) | LOAEL (%) | ALC (%) |
|--------------|-----------|-----------|---------|
| FIC-1311     | 0.2       | 0.4       | >12.8   |
| HCFC Blend A | 10        | >10       | 64      |
| HCFC Blend B | 5.0       | 7.5       | 56.7    |
| HCFC-124     | 1.0       | 2.5       | 23-29   |
| HFC-23       | 30        | >30       | >65     |
| HFC-125      | 7.5       | 10        | >70     |
| HFC-227ea    | 9.0       | 10.5      | >80     |
| HFC-236fa    | 10        | 15        | >45.7   |
| FK-5-1-12    | 10        | >10       | >10     |

表 4 氧气浓度对人体影响

|          |                            |
|----------|----------------------------|
| 20.9%    | 氧气浓度正常                     |
| 19.5%    | 氧气最小允许浓度                   |
| 15 ~ 19% | 降低工作效率，并可导致头部、肺部和循环系统问题    |
| 10 ~ 12% | 呼吸急促，判断力丧失，嘴唇发紫            |
| 8 ~ 10%  | 智力丧失，昏厥，无意识，脸色苍白，嘴唇发紫，恶心呕吐 |
| 6 ~ 8%   | 8分钟                        |
| 4 ~ 6%   | 40秒内抽搐，呼吸停止，死亡             |

如果以急性吸入 4 小时为统一标准，保守估计当 O<sub>2</sub> 浓度减低到 10%以下，持续停留 4 小时以后，对人是致命的，而 10%的 O<sub>2</sub> 浓度对应的 IG-541 灭火剂浓度为 52%。由此可推出 IG-541 的 LC<sub>50</sub> 值是>52%。此时在 480V 及以上高压配电间的设计中，IG-541 的设计浓度 57%已>LC<sub>50</sub> 值是及其危险的。

从 LC<sub>50</sub> 值的对比来看，HFC-227ea 的安全性是高于 IG-541 的。但是实际上，人员在灭火剂喷放后的防护区内不可能长时间存留，因此，从 LC<sub>50</sub> 值来判断在灭火剂喷发情况下，误入防护区或者未来得及撤出的人员的安全与否，也是不太合适的。

### 3.4 NFPA 的相关规定

对于 HFC-227ea 和 IG-541，NFPA 同样不建议在有人常驻空间内使用高于 NOAEL 的设计浓度。但同时，对于浓度超出限制的设计，又提出了停留时间的要求，即 RSET-最大允许停留时间的概念；这实际上为那些有可能误入灭火剂即将、或正在、或已经喷放的防护区内的人员，以及那些无法及时撤出的人员，提供了一个可以参照的执行标准，以避免以上情况下人员安全受到威胁。

### 3.5 安全要求及设施的考虑

在有人常驻空间内采用高于 LOAEL 的设计浓度，例如：480V 及以上的带电设施及电子设备的防护区内，使用高于 LOAEL 的设计浓度时，需要考虑的安全建议如下：

对相关的检查、测试、维护和操作人员进行全方位的安全培训，并进行各种预案下的消防演练  
完善相关区域，如钢瓶间、防护区内、防护区门外走道处的释放警告牌和安全指示标识及相关操作说明的铭牌。

进入防护区的人员必须全程携带自给式辅助呼吸装置。

制定合理的防护区内人员及钢瓶间内人员的逃生通道，避免过于复杂的通路和堵塞的情况。

系统主管路上安装带开关监测信号的关断阀，有人进入防护区的时候关断该阀门，人员撤出后，阀门关闭状态的报警持续提示中，重新开启阀门后报警消除，系统恢复正常工作状态。

使用气动预警装置，在系统喷放时，由惰性气体为气源，驱动气动警铃，提示防护区内人员撤出，避免系统误动作时没有报警提示的安全隐患。

安装气动延时装置，可以同气动警铃同时使用，在系统喷放前给出预警和人员撤离时间。

## 4 系统选型应考虑的其他因素

在系统选型时，还需要注意考虑以下方面的因素：

灭火剂的灭火效果如何，是否适用于当前设计的防护区的使用要求：

例如：表面火灾、深位火灾、可燃液体火灾、带电设施火灾等；其中：HFC-227ea 更适合带电设施火灾；IG-541 更适合深位火灾。

灭火系统的存储容器及工作管网的压力安全等级：

例如：高压系统对存储、运输和管网安装、材质的要求都要相对较高，风险也较大；因此，HFC-227ea 在此处更优于 IG-541。

喷头喷口处压力大小：

应避免喷口处压力过大对环境及人员、设备造成损伤，HFC-227ea 在此处更优于 IG-541。

灭火系统的存储空间和占地面积，运输的方便性：

例如：钢瓶数量太多有可能导致钢瓶间面积不够，或者钢瓶体积和重量较大造成运输比较麻烦等，因 HFC-227ea 整体钢瓶用量少，占地面积小，运输更方便，故在此处 HFC-227ea 更优于 IG-541。

灭火剂和灭火系统的综合环保因素，

例如：对于灭火剂来说，HFC-227ea 的环保性能略低于 IG-541；但是从钢瓶等设备制造过程所产生的环境危害来说，因 IG541 的钢瓶用量远高于 HFC-227ea,故从制造方面的环保性能来评估则 HFC-227ea 要优于 IG-541；

系统的整体造价，

例如：HFC-227ea 灭火剂造价高于 IG-541，但是 IG-541 的钢瓶造价要高于 HFC-227ea 系统，故两个系统整体造价基本持平。

总之，系统选型需要从实际应用出发，综合考虑各个方面的因素，以确定更适合自己的工程项目的洁净气体灭火系统。

## 参考文献

- [1] 罗定元,唐祝华,杜鹏,陶观楚,姜文源,罗序红,党宏伟,刘战军,张兆宪,廖平,徐康辉,邓红,伍建许,冯松,汪映标,林健辉.浅谈气体灭火系统选型配置技术[J].给排水,2008,(07):70-76.
- [2] 李厚强.不同气体灭火系统比较及选型的模糊综合评价方法[J].消防技术与产品信息,2014,(07):35-38.