

T/CMEEEA

团 体 标 准

T/CMEEEA XXXX-2026

配电设备用全氟己酮微胶囊灭火系统通用 技术要求

General technical requirements for perfluorohexanone microcapsule fire -
extinguishing systems for power distribution equipment

(征求意见稿)

2026 - XX - XX 发布

2026 - XX - XX 实施

目 次

前言	II
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 技术要求	1
5 试验方法	5
6 检验规则	8
7 标志、包装、运输、贮存	9

前 言

本文件按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由贵州电网有限责任公司电力科学研究院提出。

本文件由中国机电设备工程协会归口。

本文件起草单位：

本文件主要起草人：

配电设备用全氟己酮微胶囊灭火系统通用技术要求

1 范围

本文件规定了配电设备用全氟己酮微胶囊灭火系统（以下简称“灭火系统”）的技术要求、试验方法、检验规则、标志、包装、运输、贮存。

本文件适用于高低压配电柜、配电箱、电缆沟、电缆夹层等配电设备及场所使用的全氟己酮微胶囊灭火系统的设计、生产、检验及应用。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

- GB/T 2423.3 环境试验 第2部分：试验方法 试验 Cab：恒定湿热试验
- GB/T 2423.10 环境试验 第2部分：试验方法 试验 Fc：振动（正弦）
- GB 4396 二氧化碳灭火剂
- GB/T 6052 工业液体二氧化碳
- GB/T 8979 纯氮、高纯氮和超纯氮
- GB/T 9978（所有部分） 建筑构件耐火试验方法
- GB/T 13384 机电产品包装通用技术条件
- GB/T 21604 化学品 急性皮肤刺激性/腐蚀性试验方法
- GB/T 21606 化学品 急性经皮毒性试验方法
- GB/T 21609 化学品 急性眼刺激性/腐蚀性试验方法
- GB 25972-2024 气体灭火系统及部件
- GB 45944 全氟己酮灭火剂

3 术语和定义

GB 25972-2024、GB 50370 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

全氟己酮 Perfluorohexanone

按照中国化学会有机化合物命名原则，名称为十二氟-2-甲基-3-戊酮，分子式： $\text{CF}_3\text{CF}_2\text{C}(\text{O})\text{CF}(\text{CF}_3)_2$ ，CAS 登记号：756-13-8，可用作灭火剂。

3.2

灭火设计浓度 extinguishing design concentration

为有效扑灭防护区内配电设备火灾，所需全氟己酮微胶囊在防护区空气中达到的最低体积浓度。

4 技术要求

4.1 外观质量

灭火系统外观应符合下列要求：

- 系统各构成部件应无明显加工缺陷或机械损伤，部件外表面应进行防腐处理，防腐涂层、镀层应完整、均匀；
- 在灭火剂瓶组上应标注灭火剂的名称，字迹应明显、清晰。在驱动气体瓶组上应标注充装气体的名称；
- 灭火系统铭牌应牢固地设置在系统明显部位；
- 有关配套的装置、系统外观应符合相关文件要求。

4.2 工作压力

灭火系统的典型增压压力、典型充装密度、最大工作压力、最小工作压力见表 1。

表 1 工作压力

增压压力/MPa	充装密度/kg/m ³	最大工作压力/MPa	最小工作压力/MPa
1.2	484.0	1.4	1.1
	808.0	1.4	1.1
2.5	484.0	2.8	2.3
	808.0	2.8	2.3
3.4	484.0	4.0	3.2
	808.0	4.0	3.2
4.2	484.0	4.9	2.9
	808.0	4.9	2.9
5.6	484.0	6.9	5.3
	808.0	6.9	5.3

4.3 灭火剂性能及充装要求

4.3.1 灭火剂性能

4.3.1.1 微胶囊性能应符合下列要求：

- 粒径分布：5 μm ~ 100 μm 范围内的颗粒占比 ≥ 95%；
- 壁材完整性：微胶囊壁材无破损、开裂，芯材包封率 ≥ 98%；
- 热稳定性：在-10℃ ~ 50℃环境下静置储存 1 年，芯材泄漏量 ≤ 1%；
- 释放特性：遇火（环境温度 ≥ 120℃）时，30 s 内微胶囊破裂率 ≥ 90%。

4.3.1.2 全氟己酮灭火剂性能应符合表 2 规定。全氟己酮系灭火剂相关生物与环境安全性能要求应符合表 3 规定。

表 2 全氟己酮灭火剂性能

项目	指标
全氟己酮纯度（质量分数）/%	≥ 99.0
全氟-2-甲基-2-戊烯及其 HF 加成物含量/（mg/kg）	≤ 90
全氟-4-甲基-2-戊烯含量/（mg/kg）	≤ 1 000
水分含量/（mg/kg）	≤ 10

表 2 全氟己酮灭火剂性能 (续)

项目	指标
酸度 (以 HCl 计) / (mg/kg)	≤ 3
非挥发性残留物 (质量分数) / %	≤ 0.3
悬浮物或沉淀物	不可见

表 3 全氟己酮系灭火剂相关生物与环境安全性能要求

项目	要求
急性经皮毒性 LD ₅₀ (mg/kg)	> 2 000
急性皮肤刺激性、腐蚀性	对皮肤无刺激性和腐蚀性
急性眼刺激性、腐蚀性	对眼睛无刺激性和腐蚀性
臭氧消耗潜能值 (ODP)	0
全球变暖潜能值 (GWP)	1
注: 上述安全性能应由专业机构确认。	

4.3.2 充装要求

充装应符合下列要求:

- 充装应由灭火剂生产企业或其授权单位实施;
- 增压气体选用的氮气应符合 GB/T 8979 的规定;
- 二氧化碳应符合 GB/T 6052 或 GB 4396 的规定;
- 灭火剂充装后应进行含水率测试, 含水率不应超过 0.003 5% (质量分数)。

4.4 启动功能要求

4.4.1 启动方式

灭火系统启动方式应符合下列要求:

- 灭火系统应具有自动启动、手动启动和机械应急启动功能;
- 灭火系统可采用不同方式启动, 其动作应准确、可靠、无故障, 各有关阀门、部件等动作应灵敏、可靠。配套使用的报警控制与驱动装置, 应能正确显示装置的工作状态, 发出灭火控制指令;
- 设有消防控制室时, 灭火系统的有关信息应传送至消防控制室;
- 系统的联动控制包括对开口封闭装置、通风设备、防火阀等的联动操作与控制;
- 可与配电设备断路器联锁, 喷射前自动切断防护区电源, 具备向消防控制中心反馈系统状态(正常、报警、喷射)的功能。

4.4.2 延时启动

灭火系统延时启动及运行应符合下列要求:

- 灭火系统应具备延时启动功能, 延迟时间不大于 30 s, 延时期间, 应能手动停止后续动作;
- 灭火系统采用不同方式启动, 其动作应准确、可靠、无故障, 各有关阀门、部件等动作应灵敏、可靠。配套使用的报警控制与驱动装置, 应能正确显示装置的工作状态, 发出灭火控制指令;
- 设有消防控制室时, 灭火系统的有关信息应传送至消防控制室;
- 灭火系统的联动控制包括对开口封闭装置、通风设备、防火阀等的联动操作与控制。

4.5 绝缘性能

在正常大气条件下，灭火系统上有绝缘要求的外部带电端子与系统本体的绝缘电阻应大于 20 MΩ，电源插头与系统本体间的绝缘电阻应大于 50 MΩ。

4.6 液压强度

按 5.6 规定的方法进行液压强度试验，被测试件不应出现渗漏、变形现象。

4.7 密封性能

按 5.7 规定的方法进行气密性试验，被测试件的密封部位应无气泡泄漏。

4.8 耐电压性能

按 5.8 规定的方法进行耐电压性能试验，被测试件的接线端子与外壳之间不应出现表面飞弧、扫掠放电、电晕或击穿现象。

4.9 腐蚀性能

对配电设备常用金属（铜、铝、钢）及绝缘材料（环氧树脂、聚氯乙烯）无腐蚀作用，浸泡试验后设备性能无明显下降。

4.10 泄放能力

灭火系统灭火剂瓶组安全泄放装置动作期间，瓶组内最大压力应不大于强度试验压力的 95%。

4.11 环境适应性

应符合以下要求：

- a) 工作温度：系统工作环境温度 - 20 °C ~ 50 °C，储瓶间环境温度控制在 -10 °C ~ 50 °C，适配不同地域气候条件；
- b) 耐候性：经高温低温循环、湿热、振动等环境试验后，系统组件无损坏、性能指标符合本文件要求；
- c) 有效期：系统整体设计有效期 ≥ 10 年，灭火介质在规定储存条件下有效期 ≥ 5 年，期间无需频繁更换。

4.12 灭火性能

4.12.1 灭火设计浓度

针对配电设备电气火灾（如电缆、变压器油火灾），灭火设计浓度宜采用 6% ~ 8%（体积比），兼顾灭火效果与安全性。

4.12.2 灭火时间

在规定防护容积内，灭火剂喷放完成后 ≤ 5 s 内扑灭火灾，应无复燃隐患。

4.12.3 浸渍时间

灭火后保持灭火浓度浸渍时间应 ≥ 5 min。

4.12.4 喷射时间

灭火系统喷射时间满足下列要求：

- a) 使用化学合成类灭火剂的灭火系统喷射时间应不超过 10 s；
- b) 使用惰性气体灭火剂的灭火系统喷射时间应不超过 60 s。

4.13 系统组件

灭火系统及部件应符合 GB 25972-2024 的规定，包括但不限于：

- a) 灭火系统；
- b) 瓶组；
- c) 喷嘴；
- d) 选择阀；
- e) 驱动装置；
- f) 控制装置；
- g) 减压装置；
- h) 防护区泄压装置。

4.14 防护区构造要求

应符合以下要求：

- a) 围护结构：防护区围护结构耐火极限 ≥ 0.5 h，允许压强 $\geq 1\ 200$ Pa，门窗应具备自动关闭功能；
- b) 泄压口：防护区应设置泄压口，泄压口应朝向安全区域；
- c) 疏散要求：防护区入口设置明显疏散指示标志、应急照明及声光报警装置，配备应急疏散通道。

5 试验方法

5.1 试验条件

除另行注明外，本章规定的试验应在下列条件下进行：

- a) 环境温度： $-20\ ^\circ\text{C} \sim 50\ ^\circ\text{C}$ ；
- b) 相对湿度：45% \sim 75%；
- c) 大气压力：86 kPa \sim 106 kPa。

注1：应参照被检样品的设计图样和相关技术条件，按本文件规定的试验方法进行。

注2：任何部件的气密性试验项目，均应在液压强度试验后进行。

5.2 外观检测

5.2.1 对照设计图样和相关技术文件资料，目测或用通用量器具检查，样品的工作温度范围、灭火剂充装密度、充装压力、工作压力、灭火系统喷射时间等基本参数应符合本文件第 5 章的规定。样品的结构、尺寸、灭火剂和充压气体、贮存容器的容积和直径、部件材料等应符合本文件第 5 章的规定，并满足设计和工艺技术文件的要求。

5.2.2 目测检查部件标志的内容和固定方式应符合本文件相应条款的规定。

5.2.3 检查样品工艺一致性情况，目测有无加工缺陷、表面涂覆缺陷、机械损伤等现象，应符合本文件相应条款的规定和设计要求。

5.3 灭火剂性能及充装要求

5.3.1 灭火剂性能

5.3.1.1 微胶囊性能

按以下要求进行：

- a) 粒径分布：采用激光粒度仪测定，测试范围 $0.1\ \mu\text{m} \sim 1\ 000\ \mu\text{m}$ ，平行测试 3 次，取平均值，记录 $5\ \mu\text{m} \sim 100\ \mu\text{m}$ 颗粒占比；
- b) 壁材完整性：通过离心分离法，将微胶囊样品置于离心机中，以 $3\ 000\ \text{r}/\text{min}$ 转速离心 30 min，分离芯材并计算包封率；
- c) 热稳定性：将样品置于 $-10\ ^\circ\text{C} \sim 50\ ^\circ\text{C}$ 恒温环境箱中储存 1 年，每 3 个月取样检测芯材含量，计算泄漏量；
- d) 释放特性：在高温试验箱中模拟 $120\ ^\circ\text{C}$ 火灾环境，放入微胶囊样品，采用高速摄像机（帧率 ≥ 200 帧/s）记录 30 s 内微胶囊破裂数量，计算破裂率。

5.3.1.2 全氟己酮灭火剂性能

按 GB 45944 的规定进行试验。

5.3.1.3 生物与环境安全性能

按以下要求进行：

- a) 腐蚀性：将配电设备常用金属及绝缘材料试样浸泡在全氟己酮介质中 72 h，取出后观察表面状态，测试试样机械性能及绝缘性能，与浸泡前对比无明显下降为合格；
- b) 环保性能：采用专业设备测定 ODP、GWP 值，满足 $\text{ODP}=0$ 、 $\text{GWP}=1$ 为合格；
- c) 急性经皮毒性试验：按 GB/T 21606 的规定，选用健康成年大鼠作为试验动物，将全氟己酮试样按规定剂量涂抹于动物脱毛皮肤并封闭接触 24h，观察 14 天内动物中毒症状及死亡情况，计算 LD_{50} 值， $> 2\ 000\ \text{mg}/\text{kg}$ 为合格；
- d) 急性皮肤刺激性、腐蚀性试验：按 GB/T 21604 的规定，将试样涂抹于家兔脱毛皮肤，分别在 24 h、48 h、72 h 观察皮肤红斑、水肿等反应，按评分标准判定为无刺激性、无腐蚀性为合格；
- e) 急性眼刺激性、腐蚀性试验：按 GB/T 21609 的规定，将试样滴入家兔眼内并按规定处理，在 1 h、24 h、48 h、72 h 观察角膜、虹膜、结膜反应，评分达标且无腐蚀性为合格。

5.3.2 充装要求

核查充装单位是否为灭火剂生产企业或其授权单位，提供相关授权证明或资质文件，符合要求为合格。按 4.3.2 的规定进行。灭火剂充装完成后，采用卡尔·费休法测定含水率。

5.4 启动功能

按 4.4 的规定进行。

5.5 绝缘性能

按 GB 25972-2024 中 6.9 的规定进行试验。

5.6 液压强度

按 GB 25972-2024 中 6.3 的规定进行试验。

5.7 密封性能

按 GB 25972-2024 中 6.4 的规定进行试验。

5.8 耐电压性能

按 GB 25972-2024 中 6.8 的规定进行试验。

5.9 腐蚀性能

按 GB 25972-2024 中 6.7 的规定进行试验。

5.10 泄放能力

按 GB 25972-2024 中 6.40 的规定进行试验。

5.11 环境适应性

5.11.1 高低温循环试验

5.11.1.1 将灭火系统组件置于高低温试验箱中，按下列程序进行循环试验：

- a) 低温阶段： $-20\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，保持 8 h；
- b) 升温阶段：在 2 h 内升温至 $50\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ ；
- c) 高温阶段： $50\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，保持 8 h；
- d) 降温阶段：在 2 h 内降温至 $-20\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ ；
- e) 循环次数：3 次。

5.11.1.2 试验结束后，取出样品在标准环境下恢复 24 h，检查组件外观有无变形、开裂、涂层脱落等缺陷，测试启动功能、密封性能、绝缘性能，各项指标符合本文件相关要求为合格。

5.11.2 湿热试验

按 GB/T 2423.3 的规定，将系统组件置于湿热试验箱中，环境温度 $40\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，相对湿度 $93\% \pm 3\%$ ，持续试验 168 h。试验后取出样品，用干布擦干表面水分，在标准环境下恢复 24 h，检查组件外观有无锈蚀、霉变，测试绝缘性能、密封性能，无异常且性能指标达标为合格。

5.11.3 振动试验

按 GB/T 2423.10 的规定，对灭火系统进行振动试验。振动频率范围 10 Hz ~ 55 Hz，加速度 2 g，在垂直和水平两个方向分别进行扫频振动，每个方向振动 1 h。试验后检查组件连接部位是否松动、部件有无损坏，测试启动功能、压力参数，符合本文件要求为合格。

5.11.4 有效期验证试验

采用加速老化试验方法，将灭火系统及灭火介质置于 $50\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 恒温环境中储存，分别在 6 个月、12 个月、18 个月时取样检测（对应实际储存年限 2.5 年、5 年、7.5 年）。检测项目包括灭火剂纯度、微胶囊性能、密封性能、压力参数。要求储存至 12 个月（对应实际 5 年）时，各项性能指标仍符合本文件 4.3、4.7、4.8、4.11 条要求；储存至 24 个月（对应实际 10 年）时，系统核心性能（灭火性能、启动功能、结构完整性）无明显下降，符合 4.11 条有效期要求为合格。

5.12 灭火性能

5.12.1 试验装置与场景

搭建模拟配电设备防护区试验装置，防护容积按实际应用场景选取（选取 1 m^3 、 5 m^3 、 10 m^3 三个典型容积），防护区围护结构符合 4.14 条要求。选取典型配电设备火灾燃料（如电缆试样、变压器油），布置在防护区内，模拟真实火灾场景。

5.12.2 灭火设计浓度验证试验

按设计浓度 6%、7%、8%（体积比）分别配置灭火剂用量，启动灭火系统后，采用气体浓度检测仪实时监测防护区内全氟己酮浓度，确保灭火过程中浓度维持在设计范围内。每种浓度至少进行 3 次灭火试验，要求灭火成功率 100%，符合 4.12.1 条要求为合格。

5.12.3 灭火时间测试

点燃试验燃料，待火灾发展至稳定燃烧阶段（火焰高度 ≥ 10 cm，持续燃烧 5 min）后，启动灭火系统，记录从灭火剂开始喷放至火焰完全熄灭的时间。要求喷放完成后 ≤ 5 s 内扑灭火灾，且灭火后 30 min 内无复燃现象，符合 4.12.2 条要求为合格。

5.12.4 浸渍时间测试

灭火后保持防护区密闭，持续监测区内灭火剂浓度，记录浓度维持在灭火设计浓度 80% 以上的时间。要求浸渍时间 ≥ 5 min，符合 4.12.3 条要求为合格。

5.12.5 喷射时间测试

启动灭火系统，记录从灭火剂开始喷放至喷放结束的总时间。对于化学合成类灭火剂系统，喷射时间不超过 10s；对于惰性气体灭火剂系统，喷射时间不超过 60 s，符合 4.12.4 条要求为合格。每个类型系统至少测试 3 次，取最大值作为测试结果。

5.13 系统组件

按 GB 25972-2024 的规定，对灭火系统各组件（瓶组、喷嘴、选择阀、驱动装置、控制装置、减压装置、防护区泄压装置等）进行逐项检验。包括组件外观、尺寸偏差、材料性能、动作可靠性、密封性能等项目，所有组件均符合 GB 25972-2024 及本文件 4.13 条要求为合格。

5.14 防护区构造符合性试验

现场核查防护区围护结构耐火极限（按 GB/T 9978（所有部分）的规定进行耐火试验）、允许压强（采用压力测试装置测定围护结构最大承受压强），检查门窗自动关闭功能、泄压口设置位置及朝向、疏散指示标志、应急照明、声光报警装置及应急疏散通道配置情况。符合 4.14 条要求为合格。

6 检验规则

6.1 检验分类

灭火系统的检验分为出厂检验和型式检验。

6.2 出厂检验

6.2.1 组批

以同一工艺、同一原辅材料生产的同一规格产品为一组批。

6.2.2 抽样规则

抽样检验方法依据 GB/T 2828.1 中规定，从同一批次、同一规格型号的合格产品中随机抽样，抽样数量不少于 3 台，抽样基数不应少于 30 台。若产品生产批量不足 30 台，应全数检验。

6.2.3 检验项目

出厂检验的项目为外观质量、工作压力、灭火剂充装含水率、启动功能、绝缘性能、密封性能。

6.3 型式检验

6.3.1 提交型式检验的产品必须是经生产厂质量检验部门检验合格的产品。

6.3.2 有下列情况时，应进行型式检验：

- a) 新产品或老产品转厂生产的试制定型鉴定；
- b) 正式生产后，如结构、材料、工艺有较大转变，可能影响产品性能时；
- c) 正常生产时应每半年进行一次检验；
- d) 产品停产一年后，恢复生产时；
- e) 合同规定进行型式检验时；
- f) 质量监督检验机构提出进行型式检验要求时。

6.3.3 型式检验的项目为第 4 章全部内容。

6.4 批量

用同一批原材料在相同生产工艺和产品条件下连续制造的产品视为同批量。

6.5 判定规则

6.5.1 性能均符合本文件规定时，则判定该批产品合格。其中任一项不合格，则判定该批产品为不合格。

6.5.2 顾客对产品有特殊要求的，按顾客要求进行（组批、检验和判定）。

6.6 复验规则

检验结果不符合要求时，则应从同批次产品中加倍抽样进行复验；如果复验结果仍不符合要求时，则该批产品应报废或降级使用。

7 标志、包装、运输、贮存

7.1 标志

7.1.1 产品铭牌

灭火系统应在明显部位设置牢固的铭牌，铭牌材质应耐腐蚀、不易磨损，内容应清晰、永久，至少包含以下信息：

- a) 产品名称、型号规格；
- b) 产品执行标准编号；
- c) 生产企业名称、地址、联系方式；
- d) 生产日期、产品序列号；
- e) 灭火剂名称及充装量、驱动气体名称及充装压力；
- f) 最大工作压力、最小工作压力；
- g) 系统设计有效期、灭火介质有效期；
- h) 防护区适用容积范围。

7.1.2 部件标志

- 7.1.2.1 灭火剂瓶组应在瓶体醒目位置标注“全氟己酮”字样，字体高度不小于 15 mm，字迹清晰、耐擦拭。
- 7.1.2.2 驱动气体瓶组应标注充装气体名称（如“氮气”“二氧化碳”）及充装压力，标注位置靠近瓶阀一侧。
- 7.1.2.3 手动启动装置、机械应急启动装置应标注操作说明及警示标识。
- 7.1.2.4 防护区入口应设置警示标志。

7.1.3 警示标志

应符合以下要求：

- a) 灭火系统储存区域应设置警示标志；
- b) 灭火系统相关容器应标注环境安全标识。
- c) 带电部件应标注“小心触电”警示标识，绝缘部件应标注绝缘等级及使用限制。

7.2 包装

- 7.2.1 产品的包装方式、尺寸和包装材料应符合 GB/T 13384 的相关要求。
- 7.2.2 包装物中应附有使用说明书、维修保养说明书、装箱清单、备品备件清单（适用时）和产品合格证等相关文件。
- 7.2.3 包装物外应注明产品名称、型号规格、贮存温度、生产者、出厂日期、放置方向、运输要求、堆放件数限制和贮存防护条件等。

7.3 运输

- 7.3.1 产品运输过程中应有防雨、防晒和减振措施。
- 7.3.2 瓶组运输应符合压力容器和气瓶运输的相关规定。

7.4 贮存

- 7.4.1 未安装使用的产品应保持原包装完整，开箱后暂不使用的部件应重新密封包装，防止受潮、污染。
 - 7.4.2 瓶组类部件贮存期间应定期检查瓶阀密封情况，不得有泄漏，压力表指示应在正常工作压力范围内。
 - 7.4.3 精密部件（如控制装置、传感器）应存放在防潮、防尘的库房内，避免剧烈振动或碰撞。
-