



中华人民共和国国家标准

GB/T 5169.24—2018/IEC 60695-1-40:2013
代替 GB/T 5169.24—2008

电工电子产品着火危险试验 第 24 部分： 着火危险评定导则 绝缘液体

**Fire hazard testing for electric and electronic products—Part 24:
Guidance for assessing the fire hazard—Insulating liquids**

(IEC 60695-1-40:2013, Fire hazard testing—Part 1-40: Guidance for assessing
the fire hazard of electrotechnical products—Insulating liquids, IDT)

2018-09-17 发布

2019-04-01 实施

国家市场监督管理总局 发布
中国国家标准化管理委员会

目 次

| | |
|-------------------------------|-----|
| 前言 | I |
| 引言 | III |
| 1 范围 | 1 |
| 2 规范性引用文件 | 1 |
| 3 术语和定义 | 2 |
| 4 绝缘液体分级 | 6 |
| 5 含有绝缘液体的电工设备的类型 | 6 |
| 6 着火参数 | 7 |
| 6.1 概要 | 7 |
| 6.2 起燃 | 7 |
| 7 火情 | 7 |
| 7.1 概要 | 7 |
| 7.2 起因火情 | 7 |
| 7.3 受害火情 | 9 |
| 8 防火保护措施 | 9 |
| 9 选择试验方法要考虑的因素 | 10 |
| 9.1 概述 | 10 |
| 9.2 型式试验 | 10 |
| 9.3 抽样试验 | 10 |
| 9.4 耐电弧试验 | 10 |
| 9.5 试验结果与火情的相关性 | 10 |
| 附录 A (资料性附录) 绝缘液体的历史 | 11 |
| 附录 B (资料性附录) 火灾的预防和保护措施 | 12 |
| 附录 C (资料性附录) 变压器 | 14 |
| 附录 D (资料性附录) 电力电容器 | 15 |
| 附录 E (资料性附录) 电缆 | 16 |
| 附录 F (资料性附录) 套管 | 18 |
| 附录 G (资料性附录) 开关设备 | 19 |
| 参考文献 | 20 |

前 言

GB/T 5169《电工电子产品着火危险试验》分为以下部分：

- 第 1 部分：着火试验术语；
- 第 2 部分：着火危险评定导则 总则；
- 第 5 部分：试验火焰 针焰试验方法 装置、确认试验方法和导则；
- 第 9 部分：着火危险评定导则 预选试验程序 总则；
- 第 10 部分：灼热丝/热丝基本试验方法 灼热丝装置和通用试验方法；
- 第 11 部分：灼热丝/热丝基本试验方法 成品的灼热丝可燃性试验方法(GWEPT)；
- 第 12 部分：灼热丝/热丝基本试验方法 材料的灼热丝可燃性指数(GWFI)试验方法；
- 第 13 部分：灼热丝/热丝基本试验方法 材料的灼热丝起燃温度(GWIT)试验方法；
- 第 14 部分：试验火焰 1 kW 标称预混合型火焰 装置、确认试验方法和导则；
- 第 15 部分：试验火焰 500 W 火焰 装置和确认试验方法；
- 第 16 部分：试验火焰 50 W 水平与垂直火焰试验方法；
- 第 17 部分：试验火焰 500 W 火焰试验方法；
- 第 18 部分：燃烧流的毒性 总则；
- 第 19 部分：非正常热 模压应力释放变形试验；
- 第 20 部分：火焰表面蔓延 试验方法概要和相关性；
- 第 21 部分：非正常热 球压试验；
- 第 22 部分：试验火焰 50 W 火焰 装置和确认试验方法；
- 第 23 部分：试验火焰 管形聚合材料 500 W 垂直火焰试验方法；
- 第 24 部分：着火危险评定导则 绝缘液体；
- 第 25 部分：烟模糊 总则；
- 第 26 部分：烟模糊 试验方法概要和相关性；
- 第 29 部分：热释放 总则；
- 第 30 部分：热释放 试验方法概要和相关性；
- 第 31 部分：火焰表面蔓延 总则；
- 第 32 部分：热释放 绝缘液体的热释放；
- 第 33 部分：着火危险评定导则 起燃性 总则；
- 第 34 部分：着火危险评定导则 起燃性 试验方法概要和相关性；
- 第 35 部分：燃烧流的腐蚀危害 总则；
- 第 36 部分：燃烧流的腐蚀危害 试验方法概要和相关性；
- 第 38 部分：燃烧流的毒性 试验方法概要和相关性；
- 第 39 部分：燃烧流的毒性 试验结果的使用和说明；
- 第 40 部分：燃烧流的毒性 毒效评定 装置和试验方法；
- 第 41 部分：燃烧流的毒性 毒效评定 试验结果的计算和说明；
- 第 42 部分：试验火焰 确认试验 导则；
- 第 44 部分：着火危险评定导则 着火危险评定。

本部分为 GB/T 5169 的第 24 部分。

本部分按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本部分代替 GB/T 5169.24—2008《电工电子产品着火危险试验 第 24 部分:着火危险评定导则 绝缘液体》,与 GB/T 5169.24—2008 相比主要技术变化如下:

- 增加了术语和定义的具体内容(见第 3 章,2008 年版第 3 章);
- 更新了绝缘液体分级引用标准(见第 4 章,2008 年版第 4 章);
- 调整了“着火参数”一章的编排(见第 6 章,2008 年版第 6 章);
- 增加了对“起因火情”和“受害火情”的介绍(见第 7 章,2008 年版第 7 章)。

本部分使用翻译法等同采用 IEC 60695-1-40:2013《着火危险试验 第 1-40 部分:电工产品着火危险评定导则 绝缘液体》。

与本部分中规范性引用的国际文件有一致性对应关系的我国文件如下:

- GB 2536—2011 电工流体 变压器和开关用的未使用过的矿物绝缘油(IEC 60296:2003,MOD)
- GB/T 3536—2008 石油产品闪点和燃点的测定 克利夫兰开口杯法(ISO 2592:2000,MOD)
- GB/T 5169.2—2013 电工电子产品着火危险试验 第 2 部分:着火危险评定导则 总则(IEC 60695-1-10:2009,IDT)
- GB/T 5169.26—2018 电工电子产品着火危险试验 第 26 部分:烟模糊 试验方法概要和相关性(IEC/TS 60695-6-2:2011,IDT)
- GB/T 5169.30—2008 电工电子产品着火危险试验 第 30 部分:热释放 试验方法概要和相关性(IEC/TR 60695-8-2:2008,IDT)
- GB/Z 5169.32—2013 电工电子产品着火危险试验 第 32 部分:热释放 绝缘液体的热释放(IEC/TS 60695-8-3:2008,IDT)
- GB/T 5169.36—2015 电工电子产品着火危险试验 第 36 部分:燃烧流的腐蚀危害 试验方法概要和相关性(IEC/TS 60695-5-2:2002,IDT)
- GB/T 5169.38—2014 电工电子产品着火危险试验 第 38 部分:燃烧流的毒性 试验方法概要和相关性(IEC 60695-7-2:2011,IDT)
- GB/T 5169.44—2013 电工电子产品着火危险试验 第 44 部分:着火危险评定导则 着火危险评定(IEC 60695-1-11:2010,IDT)
- GB/T 14402—2007 建筑材料及制品的燃烧性能 燃烧热值的测定(ISO 1716:2002,IDT)
- GB/T 27750—2011 绝缘液体的分类(IEC 61039:2008,IDT)

本部分还做了下列编辑性修改:

- 为与现有标准系列一致,将本部分名称改为《电工电子产品着火危险试验 第 24 部分:着火危险评定导则 绝缘液体》。

本部分由中国电器工业协会提出。

本部分由全国电工电子产品着火危险试验标准化技术委员会(SAC/TC 300)归口。

本部分负责起草单位:中国电器科学研究院有限公司。

本部分参加起草单位:广东生益科技股份有限公司、广东出入境检验检疫局检验检疫技术中心、威凯检测技术有限公司、浙江跃华电讯有限公司、东莞出入境检验检疫局检验检疫综合技术中心、深圳市计量质量检测研究院、工业和信息化部电子第五研究所、北京泰瑞特检测技术服务有限责任公司、无锡苏南试验设备有限公司、山东省产品质量检验研究院。

本部分主要起草人:揭敢新、官健、武政、刘岩、吴倩、王朝圣、郑少锋、王通、张元钦、高岭松、周学东、倪云南、陈大伟。

本部分所代替标准的历次版本发布情况为:

- GB/T 5169.24—2008。

引 言

所有电工电子产品的设计都需考虑着火风险和潜在的着火危险。对元件、电路和产品的设计以及材料的筛选目的在于,在合理可预见的异常使用、故障或失效时,将潜在的着火风险降低到可以接受的水平。

100多年来,矿物油绝缘液体已用于变压器和其他一些类型的电工设备的绝缘和冷却。

在过去的70年中,合成绝缘液体被开发并使用,其性能尤其适用于特殊电气。然而,由于技术和经济方面的原因,高精炼矿物油作为绝缘液体继续广泛用于变压器,是其主要用途。地区、国家和国际法规包含了其安全安装。

对于矿物油和合成液体而言,含有绝缘液体的电工电子产品的防火安全记录是良好的。近些年来在防火设计和措施方面的改进,已经减少了含有矿物油的电工设备的着火危险。然而,对于所有的电工设备而言,目的是即使出现可预见的非正常使用,依然能减少着火的可能性。

实际目标是防止起燃,如果发生起燃,最好将火灾控制在电工设备的外壳内。

电工电子产品着火危险试验 第 24 部分： 着火危险评定导则 绝缘液体

1 范围

GB/T 5169 的本部分给出了将电气绝缘液体产生的着火危险降至最小的导则,这些绝缘液体的使用涉及:

- a) 电工设备和系统;
- b) 人群、建筑物及其中的物品。

本部分旨在供产品标委会根据 IEC 指南 104:2010 和 ISO/IEC 指南 51:1999 中规定的原则编写标准。并不适用于制造商或认证机构。

产品标委会的任务之一就是在编写标准时,凡适用之处都要使用本部分。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件,仅注日期的版本适用于本文件。凡是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 5169.1—2015 电工电子产品着火危险试验 第 1 部分:着火试验术语(IEC 60695-4:2012, IDT)

ISO 1716 产品的耐火试验反应 燃烧总热量的测定(发热量)[Reaction to fire tests for products—Determination of the gross heat of combustion (calorific value)]

ISO 2592 闪点和燃点测定法 克利夫兰开口杯法(Determination of flash and fire points—Cleveland open cup method)

ISO 13943:2008 消防安全 词汇(Fire safety—Vocabulary)

IEC 60050 国际电工词汇(International electrotechnical vocabulary)

IEC 60296 电工用液体 变压器和开关设备用的未使用过的矿物绝缘油(Fluids for electrotechnical applications—Unused mineral insulating oils for transformers and switchgear)

IEC 60465 充油电缆用的未使用过的矿物绝缘油规范(Specification for unused insulating mineral oils for cables with oil ducts)

IEC 60695-1-10 着火危险试验 第 1-10 部分:电工产品着火危险评定导则 总则(Fire hazard testing—Part 1-10; Guidance for assessing the fire hazard of electrotechnical products—General guidelines)

IEC 60695-1-11 着火危险试验 第 1-11 部分:电工产品着火危险评定导则 着火危险评定(Fire hazard testing—Part 1-11; Guidance for assessing the fire hazard of electrotechnical products—Fire hazard assessment)

IEC/TS 60695-5-2 着火危险试验 第 5-2 部分:燃烧流的腐蚀危害 试验方法概要和相关性(Fire hazard testing—Part 5-2; Corrosion damage effects of fire effluent—Summary and relevance of test methods)

IEC 60695-6-2 着火危险试验 第 6-2 部分:烟模糊 试验方法概要和相关性(Fire hazard testing—Part 6-2; Smoke obscuration—Summary and relevance of test methods)

IEC 60695-7-2 着火危险试验 第 7-2 部分:燃烧流的毒性 试验方法概要和相关性(Fire hazard testing—Part 7-2: Toxicity of fire effluent—Summary and relevance of test methods)

IEC 60695-8-2 着火危险试验 第 8-2 部分:热释放 试验方法的概要和相关性(Fire hazard testing—Part 8-2: Heat release—Summary and relevance of test methods)

IEC/TS 60695-8-3 着火危险试验 第 8-3 部分:热释放 电工产品中绝缘液体的热释放(Fire hazard testing—Part 8-3: Heat release—Heat release of insulating liquids used in electrotechnical products)

IEC 60944 变压器硅油的维护指南(Guide for the maintenance of silicone transformer liquids)

IEC 61039 绝缘液的分类(Classification of insulating liquids)

IEC 61203 电工用合成有机酯 设备中变压器酯类的维护指南(Synthetic organic esters for electrical purposes—Guide for maintenance of transformer esters in equipment)

3 术语和定义

ISO 13943:2008 和 GB/T 5169.1—2015 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。为了便于使用,以下重复列出了 ISO 13943:2008 和 GB/T 5169.1—2015 中的一些术语和定义。

3.1

电弧 arc

电流通过通常为绝缘性的介质(如:空气)时,出现的等离子体持续放电的气体击穿现象。

3.2

事故油池 bund

设计用于在漏油或溢出时保持内部容器容量的外墙或水槽。

注:事故油池的设计宜能用于很好地收集溢出液体。

3.3

套管 bushing

导体穿过的有开口的绝缘管。

3.4

燃烧 combustion

物质与氧化剂的放热反应。

注:燃烧通常会放出燃烧流,并伴有火焰和/或灼热。

[ISO 13943:2008,定义 4.46]

3.5

腐蚀危害 corrosion damage

由于化学作用引起的物理和/或化学损害或功能受损。

[ISO 13943:2008,定义 4.56]

3.6

外壳 enclosure

<电工电子专业>保护设备的电气和机械部件的外罩。

注:电缆除外。

[GB/T 5169.1—2015,定义 3.2.6]

3.7

着火 fire

(通常)以排放热和燃烧流为特征的燃烧过程,常伴有烟和/或火焰和/或灼热。

注：在英语中，“fire”用于表示三种概念，其中的“fire”（着火）和“fire”（火灾）两个是关于不同方式的自支持燃烧的特
定类型，它们在法语和德语中为两个不同的术语。

[ISO 13943:2008, 定义 4.96]

3.8

燃烧流 fire effluent

在着火情况下，由燃烧或热解产生的所有气体和气溶胶，包括悬浮颗粒。

[ISO 13943:2008, 定义 4.105]

3.9

火势的发展 fire growth

热释放速率和温度增加的着火发展阶段。

[ISO 13943:2008, 定义 4.111]

3.10

着火危险 fire hazard

由着火引起的不期望的潜在性物质或条件。

[ISO 13943:2008, 定义 4.112]

3.11

着火能量 fire load

一定空间内的所有可燃物（包括所有界面装饰物）完全燃烧所释放的热量。

注 1：着火能量可根据要求分为：有效燃烧热、总燃烧热或净燃烧热。

注 2：在英语中，“load”可用于表示力量或功率或能量。这里指能量。

注 3：其代表性单位为千焦(kJ)或兆焦(MJ)。

[ISO 13943:2008, 定义 4.114]

3.12

燃点 fire point

指定条件下，标准的小火焰施加于材料表面，致使其起燃并继续燃烧一定时间所需的最低温度。

注 1：在某些国家，英文“fire point”包含另外的含义，即：设有消防设备的场所，该场所也可带有火灾报警设备和消防说明注意事项。

注 2：其代表性单位为摄氏度(°C)。

[ISO 13943:2008, 定义 4.119]

3.13

着火风险 fire risk

着火伴有其后果可量化测定的可能性。

注：通常用着火发生概率和着火后果的乘积对其进行评估。

[ISO 13943:2008, 定义 4.124]

3.14

火情 fire scenario

通过识别研究所用的火的特性以及它与其他可能发生的着火之间的区别的关键事物，来对着火在时间方面的进程的一种定性描述。

注：其具代表性地定义了起燃和火势的发展进程、完全着火阶段、着火衰退阶段以及影响着火进程的环境和体系。

[ISO 13943:2008, 定义 4.129]

3.15

火焰(名词) flame (noun)

在气体介质中，急速、自发持续、次音速传播的燃烧区域，通常伴有发光现象。

[改自 ISO 13943:2008, 定义 4.133, 增加了“区域”一词]

3.16

有焰燃烧性 flammability

指定条件下,材料或产品伴有火焰燃烧的能力。

[ISO 13943:2008,定义 4.151]

3.17

闪点 flash point

指定条件下,材料或产品受热产生的蒸气遇火即燃时,所需热量的最低温度。

注:其代表性单位为摄氏度(°C)。

[ISO 13943:2008,定义 4.154]

3.18

总燃烧热 gross heat of combustion

指定条件下,物质完全燃烧且生成的水完全凝结时的燃烧热。

注:其代表性单位为千焦每克($\text{kJ} \cdot \text{g}^{-1}$)。

[ISO 13943:2008,定义 4.170]

3.19

燃烧热 heat of combustion

给定物质单位质量燃烧时产生的热能。

注:其代表性单位为千焦每克($\text{kJ} \cdot \text{g}^{-1}$)。

[ISO 13943:2008,定义 4.174]

3.20

汽化热 heat of gasification

给定温度下,单位质量的物质由凝固相转为气相所需的热能。

注:其代表性单位为千焦每克($\text{kJ} \cdot \text{g}^{-1}$)。

[ISO 13943:2008,定义 4.175]

3.21

热释放 heat release

燃烧产生的热能量。

注:其代表性单位为焦(J)。

[ISO 13943:2008,定义 4.176]

3.22

热释放速率 heat release rate

燃烧速率(不推荐使用)

燃烧的速率(不推荐使用)

燃烧产生热能量的速率。

注:其代表性单位为瓦(W)。

[ISO 13943:2008,定义 4.177]

3.23

高压 high voltage; HV

超过 1 kV(a.c.)或超过 1.5 kV(d.c.)的电压。

3.24

可燃性 ignitability

易起燃性 ease of ignition

指定条件下,试样起燃难易程度的量度。

[ISO 13943:2008, 定义 4.182]

3.25

起燃 **ignition**

持续的燃烧(不推荐使用)

<通常>燃烧的开始。

[ISO 13943:2008, 定义 4.187]

3.26

矿物油 **mineral oil**

符合 IEC 60296 或 IEC 60465 要求的液体。

3.27

净燃烧热 **net heat of combustion**

当生成的所有水都为气态时的燃烧热。

注 1: 净燃烧热通常比总燃烧热小, 因为其未考虑水凝结时所释放的热。

注 2: 其代表性单位为千焦每克($\text{kJ} \cdot \text{g}^{-1}$)。

[ISO 13943:2008, 定义 4.237]

3.28

烟的阻光度 **opacity of smoke**

指定条件下, 入射光通量与穿过烟的透射光通量之比。

注 1: 烟的阻光度是透光率的倒数。

注 2: 烟的阻光度是无量纲的。

[ISO 13943:2008, 定义 4.243]

3.29

起因火情 **origin fire scenario**

电工电子设备是起燃源头的火情。

3.30

PCB **PCB**

多氯联苯。

注: 多氯联苯混合物在 20 世纪 30 年代被开发为绝缘液体。它们被熟知的专业名称, 如: AroclorTM、AskarelTM、ClophenTM、InerteenTM 和 PyranolTM。

3.31

液池着火 **pool fire**

火焰扩散在液体燃料水平表面的着火, 液体浮力控制火中的燃烧流和空气传递情况。

3.32

例行试验 **routine test**

从一批样品中随机抽取部分样品进行试验。

3.33

抽样试验 **sampling test**

生产过程中或生产后, 在个别试样上进行的符合性试验。

[改自 IEC 60050-151:2001, 定义 151-16-17, 原术语为: “例行试验”]

3.34

分接开关 **tapchanger**

调节变压器输出电压值为相关规定所需值的装置。

3.35

中毒危险 toxic hazard

暴露在有毒燃烧产物中而导致受到损害的潜在危险性。

[ISO 13943:2008,定义 4.337]

3.36

型式试验 type test

在有代表性的一个或多个产品上进行的确认试验。

[IEC 60050-581:2008,定义 581-21-08]

3.37

受害火情 victim fire scenario

电工电子设备是外部火灾受害物的火情。

4 绝缘液体分级

绝缘液体已在 IEC 61039 中根据燃点和净燃烧热分级,如表 1 所示。

表 1 绝缘液体分级

| 燃点 | | 净燃烧热 | |
|--------------------------------|---------|------|------------------------|
| O 级 | ≤300 °C | 1 级 | ≥42 MJ/kg |
| K 级 | >300 °C | 2 级 | <42 MJ/kg ≥32 MJ/kg |
| L 级 | 不可测量的燃点 | 3 级 | <32 MJ/kg |
| 示例: 矿物变压器油(IEC 60296)分级为 O1 级。 | | | |

注 1: 用 ISO 2592 克利夫兰开口杯法测量燃点是分级的首选方法。

注 2: 闪点的测量有时作为第二种方法用于分级。IEC/TC 10 通常采用 ISO 2719:2002^[3]的闪点实验法(闭杯法)测定闪点。如果该方法测得的闪点值<250 °C,那么该产品分级为“O”;如果闪点值≥250 °C,则产品分级为“K”;如果无可察觉闪点,则产品的分级为“L”。

5 含有绝缘液体的电工设备的类型

绝缘液体用于以下设计:

- 变压器和电抗器;
- 电容器;
- 电缆;
- 套管;
- 开关设备;以及
- 各种电源电子设备(其他一些电工应用中,绝缘液体少量用作绝缘材料而主要用作冷却液)。

在许多情况下,设计时可使用固体或气体绝缘材料替换液体绝缘材料。本部分不讨论这些选择的相对优点和缺点。

注: 因为绝缘液体通常是绝缘系统的一部分,所以它对整个系统的着火危险评定也是有用的。

6 着火参数

6.1 概要

6.2 描述了与绝缘液体起燃和燃烧相关的主要参数。

6.2 起燃

6.2.1 概要

起燃性可按照 ISO 2595 描述的燃点来测定。

6.2.2 燃烧

燃烧特性需考虑燃烧流对着火能量、火势发展潜在性和着火危险的影响。

注：火灾可能不会引起绝缘液体的燃烧，但可能会引起绝缘液体的泄漏。如果发生这种情况，则绝缘液体泄漏的危险也需考虑到。

6.2.3 火势发展潜在性

与火势发展潜在性相关的重要参数是净燃烧热、热释放速率和汽化热。

6.2.4 燃烧流

燃烧流的重要危险因素是烟的阻光度、腐蚀危害和毒性危险。

7 火情

7.1 概要

含有绝缘液体的电工设备的火情说明如下文所描述。这些火情尤其与变压器(应用绝缘液体的主要产品)以及在某些状况下的其他类型的电工设备有关。

应按照 IEC 60695-1-10 和 IEC 60695-1-11 评定着火危险。

对于含有绝缘液体的电工设备,应考虑以下两种火情:

- a) 当电工设备是起燃源时,被认为是“起因火情”,以及
- b) 当电工设备是外部火灾受害物时,被认为是“受害火情”。

在起因火情中,着火是因电工设备内部故障引起。在受害火情中,绝缘液体影响到外部起火的着火能量。

7.2 起因火情

7.2.1 概要

应考虑:

- a) 在过载条件下设备的绝缘液体是否会被加热至燃点。如果暴露于外部引燃源,可能导致起火;
- b) 非受控的内部高能量电弧是否会导致起火。

以上任一种情况都可能产生足以使电工设备中的绝缘液体容器破裂的内部压力。之后液体通常以喷雾形式喷出,并可能被点燃。喷雾在短时间内剧烈燃烧,然后形成液池,该液池视电工设备可能燃烧或不燃烧。有关 O1 级绝缘液体的经验表明,液池火灾燃烧造成的危害最大,但未出现过 K 级液体的液

池火灾报告。

K级绝缘液体(已知的不易燃绝缘液体)的试验显示,即使喷雾起燃,产生的液池也会迅速终止燃烧。其原因主要在于这种液体燃点高。然而,矿物油(O1级)更可能以液池火灾的方式持续燃烧。因此,与着火危害有关的许多信息适用于O1级液体。

多氯联苯混合物(见3.30和附录A)的特性类似于K级绝缘液体。尽管多氯联苯被定为L级,但喷雾和溶解气体仍可起燃。而形成的液池不会持续燃烧。

对于各种电工设备而言,由于技术和/或经济方面的原因,O1级绝缘液体几乎一直在使用。因此可通过对电工设备进行合理设计和将其置于安全场所来提供防火保护,这些电工设备包含物理和电气控制装置(参见附录B)。

K级绝缘液体防护措施的严格程度低于O级绝缘液体(参见附录A和附录C)。

绝缘液体主要用于变压器。以下列出的主要和次要火情适用于变压器和其他类型含有绝缘液体的电工设备。

对含有多氯联苯或被多氯联苯污染的矿物油设备,人类应在防御其产生的燃烧流或流出物方面做出相关规定。按照地区法规识别和处理这些设备,并终止其使用。这点很重要,因为无论载液是否燃烧,如果发生热分解,多氯联苯都呈现毒性^[4]。

尽管含有绝缘液体的电工设备因故障引起火灾的情况很少,然而很显然,任何会发射出高电能和含有大量可燃固体和/或液体绝缘材料的设备都有潜在的着火危险。在具有良好的防护措施时,危害通常比较小且被限制在容器内,也可能喷出少量绝缘液体。

7.2.2 着火的主要原因

起因火情的着火主要原因如下:

- a) 容器损坏导致绝缘液体可能以液体喷雾形式发生泄漏。
- b) 过载时的热扩张或绝缘液体分解出气体物质都会导致容器内部压力的增加。这会使液体和蒸气从泄压阀排出。
- c) 未发现的泄漏导致循环不足,结果产生过热和液体性质的改变,最终因暴露导体产生的电弧而发生击穿。
- d) 因瞬时高压、闪电或开关冲击导致在输入高压端子之间产生一道高能量电弧或多道电弧。
- e) 高压线圈中心的低量级故障,导致绝缘液体击穿和分解成为易燃气体。
- f) 清除故障的保护失效,导致严重过热和线圈故障。
- g) 分接开关故障——失效可能会波及到变压器。
- h) 过热连接造成绝缘体破裂,进而引起绝缘套管故障。这使过热连接处绝缘液体缓慢流出,如果未发现,可能会发展成火灾。
- i) 电缆箱故障——电缆箱是复合绝缘或充油绝缘。绝缘的失效可能产生相位之间的电弧,从而所产生的高压可能造成电缆箱爆裂。
- j) 充油电缆失效。

7.2.3 着火的次要原因

起因火情的着火次要原因如下:

- a) 过热的连接导致绝缘体破裂。
- b) 过热的连接引起绝缘液体的缓慢流出。如果未发现,根据液体的燃烧特性可能会发展成火灾。

7.2.4 液池着火

矿物油浸式变压器的使用经验表明,如果变压器箱因高能内部电弧引起严重故障而破裂,绝缘液体

会以喷雾状喷射出来。这种喷雾在短时间内剧烈燃烧,并且对变压器本身会造成危害,除此之外,在大多数记载的事件中,油池燃烧的高热释放速率对总的着火危险有相当大的影响。因此,液池着火发生的可能性是必须特殊考虑的问题。

7.2.5 燃烧喷雾

喷雾仅在短时间内会剧烈燃烧。因为大多数电工设备中的容器仅有有限的耐压能力,所以压力采用对比的方法限定,例如液压对比。

7.2.6 热表面起燃

电工设备外部大电流连接故障,会导致局部高温,可能超过 500 °C。如果绝缘液体从电工设备中泄漏并流过这样的过热表面,则可能起燃。这将取决于表面温度、液体的起燃温度和流动的速度。

7.3 受害火情

外部着火发生时,应考虑到电工设备可能会被卷入其中。这些情况可能包括因建筑物倒塌造成容器损坏和液体流出成池而起燃。

另外一种受害火情是交互着火,着火开始于邻近相关的电工设备(比如:连接电缆、电容器和开关设备)。例如,着火损坏了连接电缆而导致短路。

应考虑绝缘液体可能暴露于外部着火的可能性,液体是否全部装在电工设备内,或设备物理损坏后液体是否会流出。其重要参数是绝缘液体的起燃性、(如果起燃)热释放和燃烧流对着火危险的影响。在受害火情中,K级(不易燃的)绝缘液体在与外部火焰接触起燃并继续燃烧前,其温度会高于O级绝缘液体。

8 防火保护措施

防火保护措施如下:

- a) 对于保留在电工设备内部的绝缘液体,应考虑其使用时的热膨胀;
- b) 预备容纳任何流出的液体,如采用容器或事故油池;
- c) 确保与相距最近的建筑物(对于室外的安装来说)有足够的距离;
- d) 防火隔墙或防火室的使用;
- e) 预备因温升过高而启动的一个或多个灭火器;
- f) 预备用减压阀启动断路器;
- g) 预备过电流保护;以及
- h) 预备快速短路保护。

附录 B 对此作了详细说明。对于特定地区,如美国、欧洲和日本,负责管理或咨询机构有部分规定。

对于安装在特殊着火危险区域(例如建筑中)的电工设备,不易燃的液体不要求采用很严格的措施。

电工设备含有的绝缘液体量在规定的最小值(通常大约是 4 L)以下时,即使是 O 级液体,亦可免除这些规定中的许多限制。在受害火情中,少量的绝缘液体仅对总着火能量提供一个小的增量。

然而,如果容器因内部的高能电弧而破裂并喷射出燃烧的液体,含有 O 级绝缘液体的电工设备依然是着火的一个原因。电容器、较小的变压器和开关设备易于出现这种情况。需要注意的是,变压器通常会内置固定减压装置以避免容器破裂,如果熔断器或其他保护措施不能熄灭内部电弧,没有这种减压装置的电工设备就会破裂。

附录 B 和附录 C 给出了更多的信息。

9 选择试验方法要考虑的因素

9.1 概述

选择的试验方法和限定值应与火情有关(见 IEC 60695-1-10)。

这些试验方法可用于选择最合适的绝缘液体,也可用于型式试验、抽样试验或例行试验。其中,抽样试验和例行试验通常用于质量控制。

试验用引燃源与实际火情有关。当考虑起因火情时,引燃源应模拟电工设备内局部性的内部过热源和起燃;当考虑受害火情时,引燃源应模拟预估的外部火焰源或过热源。

9.2 型式试验

依据燃点(见 ISO 2592)测定起燃性(起燃的难易程度)。

可用 ISO 1716 测定燃烧热。该方法可测定总燃烧热,但如果绝缘液体的氢含量已知,则可计算出净燃烧热(见 IEC 60695-8-2)。

热释放速率可用 IEC/TS 60695-8-3 中的锥形量热仪测定。

燃烧流的腐蚀危害、烟模糊和毒性危害可用各种方法测得。IEC/TS 60695-5-2 提供了腐蚀危害的试验方法概要和相关性。IEC 60695-6-2 提供了烟模糊的试验方法概要和相关性。IEC 60695-7-2 提供了毒性危害的试验方法概要和相关性。

9.3 抽样试验

开口杯燃点试验最适用于质量控制。可以同时测定开口杯闪点(见 ISO 2592)。IEC 60944 和 IEC 61203 规定了服役一段时间后的绝缘液体的维护和取样测试。

对于各种电工设备中的绝缘液体,在服役一段时间后,取样和性能(包括余辉时间的闪点和燃点)测量的便捷是其特有的优点。而固体绝缘材料不存在这样的特点。

9.4 耐电弧试验

对于变压器,评估抵抗持续的低能量电弧,和在变压器油箱不破裂的条件下抵抗规定高能量电弧的能力的方法已经制定。这些方法已被 US 认证机构使用^[5],但还没有制定成为国家标准或国际标准。

9.5 试验结果与火情的相关性

热和燃烧流的释放使生命和财产在火灾中遭受危险。

通过测定绝缘液体的燃点和热释放速率,以及由绝缘液体燃烧产生的燃烧流的腐蚀性、烟的阻光度和毒性危害,基于以下原理,电工设备用绝缘液体的相关危害可被评估:

——燃点越高,越不易起燃;以及

——如果起燃,热释放速率越低和燃烧流的量越少,预期的危险和着火强度越低。

绝缘液体的着火特性取决于液体性质和液体容器的尺寸和几何形状,以及其他可燃材料和热源的存在。

附录 A
(资料性附录)
绝缘液体的历史

矿物油通常被用作绝缘液体,已有 100 多年的历史。当高压变压器和电缆发展起来时,在 19 世纪 80 年代首先应用于电工行业。要去除空气和湿气来提高工作电压就有必要使用浸渍多孔纸和其他固体绝缘材料,在此期间如果需要也可提供对流冷却。

目前,用于电气绝缘的矿物绝缘油是含有稳定添加剂的非常精炼的产品,符合变压器和开关装置的标准(IEC 60296)和有输油管的电缆的标准(IEC 60465)。植物油(尤其是蓖麻油)也被使用,并且在一些电容器中现在还一直在使用。

大约从 1930 年开始,多氯联苯混合物被用于替代安装在室内或其他着火危险场所的变压器中的矿物油。变压器用多氯联苯混合物有不可测量的燃点,因而被看作是不易燃的。可是后来,人们发现如果变压器破裂随之发生非受控的高能量电弧故障,这类液体的喷雾和其分解气体仍然能够起燃和短暂燃烧。严重的是多氯联苯混合物的燃烧产物是有毒的,而不可分解的多氯联苯还会在环境中长期存留,并造成环境危害^[4]。进一步使用和制造多氯联苯已经在全世界范围被禁止。

为了替换变压器用多氯联苯,燃点超过 300 °C 的绝缘液体(包括硅树脂、酯和高分子烃)在 20 世纪 70 年代投入使用。这些绝缘液体在高能量电弧变压器的故障中表现出的性能类似于多氯联苯混合物。尽管喷射出的喷雾会被分解和被电弧点燃,但仅仅是短时燃烧。

超过 150 000 台有着良好安全记录的含 K 级(不易燃的)绝缘液体变压器正在使用。这些 K 级绝缘液体不同于多氯联苯,不会造成类似的环境危害。

直到 1970 年,多氯联苯混合物依然用于电容器。在取消使用后,电容器的设计变为采用其他合成液体,特别是低黏性的芳烃类。这些液体一般符合 IEC 60867^[6]。不同于多氯联苯混合物,这些低粘性合成芳烃类液体的燃点大约在 165 °C。

电缆用绝缘液体最初以精炼原油得到的矿物油为主,但是从 20 世纪 60 年代以后也开始使用合成芳香烃类液体。1992 年出版的 IEC 61100 根据燃点和净燃烧热对绝缘液体分级。后来被 IEC 61039^[7] 替换。

目前正在使用的绝缘液体 90% 以上是 IEC 61039 中易燃的 O1 级。包含各种绝缘液体的电工设备的防火安全记录一般是良好的。而存在一些涉及 O1 级液体的严重事件,值得注意的是,容纳此分级矿物油的数百万台变压器正在全球使用,而这类事故却是很罕见的。L3 级绝缘液体也被牵涉于严重的火灾事故中,主要由于随之发生的环境污染和清除费用。

由于这些原因,着火危险分析和适当的保护措施是非常重要的。

附录 B
(资料性附录)
火灾的预防和保护措施

B.1 总则

以下这些措施特别适用于变压器,总的来说也适用于其他一些充液装置。这些措施的应用还取决于电工设备的特定类型和绝缘系统,及其使用场所的着火危险评定和有关地区和/或国家的防火安全法规。

B.2 物理防护措施

- a) 使用压力释放装置;

注:压力释放装置仅能对高能量故障提供有限的保护,尽管在爆炸的情况下可以预防冲击波,但在低能量受灾火情中却不能提供良好的保护。

- b) 遵循合适的容器爆裂强度要求;
- c) 使用防火隔墙;
- d) 为变压器周围和下方区域提供事故油池;
- e) 安装地下室;
- f) 提供自动灭火器;
- g) 使用能适应温度上升或气体生成引起膨胀的波纹容器;
- h) 使用氮气(或其他惰性气体)层。

B.3 化学防护措施

- a) 使用不易燃或高燃点的绝缘液体;
- b) 绝缘液体应遵循适当的最低击穿电压要求。

B.4 电气防护措施

- a) 使用内部或外部的电力熔断器;
- b) 使用内部或外部的限流熔断器;
- c) 使用其他内部或外部的过电流限制装置。

B.5 感应装置

- a) 带跳闸装置的线圈或绝缘液体温度报警系统;
- b) 带跳闸装置的超压报警系统;
- c) 气体探测(巴克霍尔茨)继电器。

B.6 维护和检查

- a) 设备的外观检查；
- b) 设备和绝缘液体的电气检测；
- c) 对于绝缘液体的劣化现象,对其进行化学检测；
- d) 溶解气体分析(DGA)；
- e) 新的或已用过的绝缘液体的多氯联苯含量分析；

注：受 PCB 污染的绝缘液体,其燃烧流可能含有毒的呋喃和二噁英。可能无法精确了解绝缘液体中 PCBs 含量超标情况。通常要考虑可接受的含量指标与地区和/或国家法规规定的流入环境指标一致。当这些含量超标时,消防员需要特殊的保护措施并净化火灾后的环境。

- f) 与制造商一起检查设备设计(这些电工设备在使用中有着火和爆炸的倾向)。

附录 C

(资料性附录)

变压器

C.1 总则

C.2 的内容意在给出不同类型的变压器的防火通用导则,但是为了确保做出最佳选择,通常需详细考虑每一种特定的用途,同一项工程中,不同的用途和环境通常使用不同类型的变压器。

C.2 变压器的选择

选择特定用途的变压器取决于许多因素。工作电压在 33 kV~400 kV 及以上范围的大功率变压器通常装满了高度精炼矿物油。这些变压器一般安装在户外,其竖立机座设计成用卵石填满泄漏油的容器。使用这种方法,产生液池火灾的可能性很小。防火安全是至关重要的,例如,在地下装置中,K 级液体用于填充大功率变压器。

这种类型的变压器配有过电流和故障接地保护、差动保护、带跳闸装置的绕组温度保护和油温报警系统。变压器内装有储油器的变压器和带跳闸装置的油位报警系统,如果出现气体产生或释放故障时,瓦斯气体和浪涌便启动继电器报警和跳闸。

大功率变压器装有带负载分接开关,这些复杂的开关装置的内部故障可能会损坏变压器。

户外变压器的安装要远离建筑物,并要保护公共场所的通道。另外,装有 O 级液体的变压器可以安装防水防火保护系统。

许多大功率变压器安装在噪声控制罩内,通常是坚固的混凝土或砖结构,也有助于防火。

多个变压器通常用防爆墙隔开,防止发生一个变压器影响相邻变压器的灾难性故障。

100 kVA~1 000 kVA 范围的公共配电变压器注满矿物油或 K 级液体,在户外用钢材、混凝土或玻璃钢遮蔽防护,或安装在建筑物中指定的安全变电站内。

二级分配系统带有限定短路时间的熔断器和断路器,万一发生内部故障,断路器或高速熔断保护会迅速断开电源。

对于户内安装,需要有液体保存设备,至少要有适用于电气火灾的轻便灭火器。在建筑物内使用注满矿物油的变压器,趋向于限制特别指定区域,例如,地下室或停车场,这样的地方陷入建筑物火灾的可能性较小。

在有重大着火危险场所使用的工业用变压器,可规定要注满燃点高于 300 °C 的 K 级防火液体。这些变压器安装在建筑物外面或指定的变电站里面。

这种类型的变压器通常是密封的,箱体可以是波纹扩展型或者有充满氮气的顶部扩展空间。

除此之外,标准的电气保护,箱体可装有一个减压阀来释放故障产生的气体并且断开输入电源。

在公共建筑内部,尤其是高层建筑或预期有大量人群聚集的地方,防火性能成为最重要的问题。尤其在欧洲,依靠当地的法规和惯例,有时宁愿选择不需要绝缘液体存留装置的干式变压器。必须详细考虑国际惯例变化和每一种特殊绝缘。

有关变压器防火性能和实例的几个标准和技术论文包括:IEC 60076-8^[8], IEC 6133^[9] 和 ISO 14000^[10]。

附 录 D
(资料性附录)
电力电容器

报告表明,火灾很少是由充满绝缘液体的高压电容器组引起的,部分原因是由于外部或内部熔断器、快速启动继电器或浪涌放电器很好地保护了电容器。

因为有电容器单元分开的可能,变电站中的电容器组用栅栏防护。多数故障并不会引起火灾。

然而,应特别注意安装时多氯联苯混合物充液电容器是否靠近可能引起火灾或扩大火灾的一些设备,因为多氯联苯混合物热分解后会产生高毒性燃烧流。

每个电容器单元只包含少量绝缘液体,绝缘液体只有很少量(标准量为10%~20%)的自由液体,自由液体会流出并促成液池火灾。在许多低压应用中,充液电容器的电容器组安装在工业或商贸建筑。对于这种安装,电容器组通常位于建筑物中限制接近并且是电容器对火灾影响最小的地方。

附 录 E
(资料性附录)
电 缆

E.1 电力电缆

主要用纸绝缘的所有电力电缆需用绝缘液体浸渍,液体的主要功能是:

- 构成油/纸电介质绝缘的一部分。防吸水的金属套管是必要的。
- 对预计在高电压下工作的电缆,在其所有工作条件下,用液体增压排出充气空间,以抑制可能导致故障的放电现象。
- 提高绝缘体的导热性,使电缆额定电流值最大化。

带有固体绝缘的电力电缆越来越多地被指定用于新的安装,但是大量浸渍电源电缆在全世界装设,并且预期继续使用许多年。对于某些用途,例如,海中配电和额定电压在 275 kV 以上的系统,浸渍纸依然是首选的绝缘介质。

注:通信电缆也可以包含浸渍,例如,阻止纵向水浸透的矿脂。

电源电缆浸渍剂可分为以下类型:

- a) 混合油黏度在 20 °C 时大于 10 000 cSt,在高温环境下 < 10 cSt。目前所用油的典型黏度曲线见图 E.1。这些液体具有标准的 200 °C 以上的开口杯闪点。在火灾情况下,液体因重力或热膨胀会流出,但不会提供持续的可燃液体源。

注 1:欧洲不再生产中压绝缘浸渍纸交流电缆,但仍有数百公里的这类电缆在使用中。

注 2:可用该类型的油制作高电压直流电缆。

注 3:这里所用的黏度为运动黏度(1 cSt=1 mm²·s⁻¹)。

- b) 低黏度液体(例如,在环境温度和工作温度下黏度 < 15 cSt),标准的开口杯闪点大约在 120 °C 以上。IEC 60141-1^[11]有对这些液体用于交流电缆的描述。在外部火灾中,绝缘液体在压力下会从油箱排出,直至可容纳数百升液体的贮液器被排空。
- c) 较低黏度液体(例如,在环境温度下黏度 < 5 cSt),标准的开口杯闪点约为 115 °C。这些液体用于长的交流和直流海底电缆。真空条件下,储液器包含数十立方米的空间。水压可在 20 bar~25 bar。

这些浸渍剂大多数是碳氢化合物,因此是易燃的。除了那些暴露于大气的场所,如连接间和连接箱、隧道、井筒或升降器、未填满的管道或建筑内部(如转换站),埋地电缆的着火危险受到控制。但是,在这样的场所电缆最可能卷入火灾,后果也最严重。

在着火危险相对高的场所,有些电缆用高闪点和高燃点的硅树脂液体浸渍,以减少同碳氢化合物电缆绝缘液体相关的着火危险^[12]。这样的电缆难以普遍使用,原因是绝缘液体相对的高成本和特殊的制和加工要求。通信电缆中的凝胶的基本材料为碳氢化合物或硅树脂。

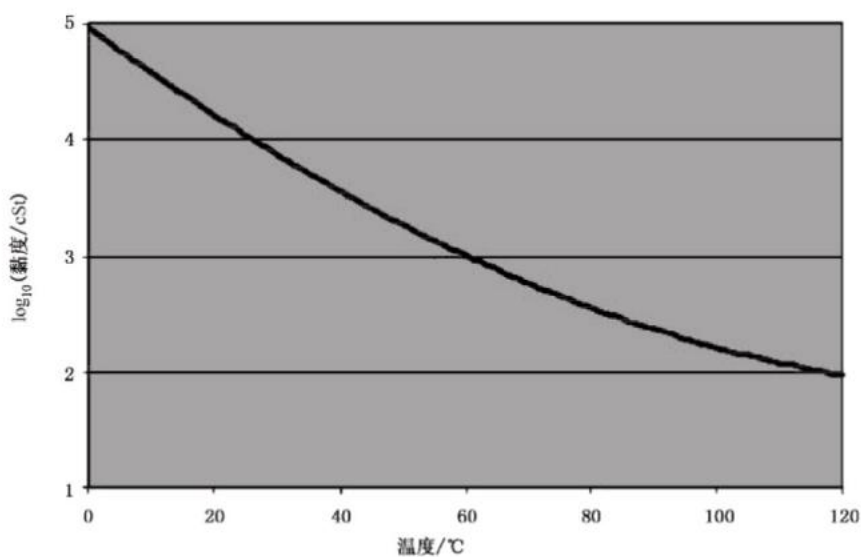


图 E.1 油的黏度

E.2 通信电缆

用于有金属导体或光纤的通信电缆的浸渍剂,在环境温度(通常也是工作温度)下是黏胶状态,但在较高的温度下可能是液体,其标准的开口杯闪点高于 200 °C。在外部火灾中,如果浸渍剂液化或电缆套破裂,液体会因重力或热膨胀流出,但不会提供持续的可燃液体源。

E.3 水封剂电缆

对于有用凝胶或油脂进行水封的带固体绝缘体的通信和电源电缆,可用完整的电缆进行防火安全测试。水封剂在最高运行温度(典型为 80 °C)下不液化。

E.4 电缆终端

较高电压的电缆终端,可在陶瓷或复合材料的外壳中包含约 100 L 的低黏度或较低黏度液体。

附录 F
(资料性附录)
套管

为了将着火危险减到最小,应提出特别注意变压器的套管、护罩和 HV(高压)导线。虽然这些组件通常只是由附件构成,但它们是注满 O1 级(IEC 61039)绝缘液体(矿物油)的变压器发生火灾(约 80%)的主要起因。

套管失效通常导致瓷散落、破裂和破碎,越过较宽的区域。通过裂开或断开的套管喷入周围大气环境的油,可能被故障伴随的电弧点燃。

如果故障是在套管的上部,与高压套管相比,通常只会引起相对小的火灾,不会进一步蔓延。然而,高压套管或高压导线的破损会导致:a)套管和箱体之间的连接断裂;b)转动架断裂;或 c)甚至箱体本身断裂,并伴随更剧烈的喷射燃烧和从油箱涉及大量油的液池着火。

在最极端的情况下,随着套管的爆炸,会看到大约高于变压器 5 倍的火球。

但是就观察所得,只有少数变压器故障会导致火灾(根据报告[13],比例不超过 13%)。

由于设备尺寸和位置的原因,通常很难或不可能在使用过程中实施预防高压套管着火和爆炸的物理保护措施。当一种特殊类型的套管很容易发生这样的故障时,通常首先限制该场所入口,然后与制造商讨论更改设备的设计,以改善安全性和可靠性。

变压器套管和变压器箱中的矿物油,通常都是与 IEC 61039 中相同的等级(例如,O1 级)。但品牌可能不同,尤其是在制造商更换套管准备注入油时。

当套管在其他设备(参见附录 A)中使用,但仅是在小比例(小于 10%)的设备中使用,K 级液体(IEC 61039)着火危险最小。

附 录 G
(资料性附录)
开关设备

本附录适用于充油断路器、充油开关和带负荷的变压器的分接开关,通常充满 O 级(IEC 61039)绝缘液体(矿物油 IEC 60296)的所有开关。实际上,这 3 种类型的安全记录全部良好,故障率很低。在某些领域,特别在出现电路故障时,新技术允许替换油,但是充油装置仍可以继续使用一段时间。

这些开关设备的每种类型仅包含少量的绝缘液体,在一场火灾事故中,在受害情况下会对火灾总能量起到小的作用。然而分接开关连接在变压器上,故障会导致变压器中大量的油起燃。

断路器和开关的主要危险是引起火灾,例如,因设备内部的绝缘失效,难于控制的高能量电弧最可能引起火灾。为了减小这种危险,重要的是保持结构中使用的液体绝缘和固体绝缘的双重电气绝缘性能。

这种用途的矿物油需符合 IEC 60296,需尤其纯净,且不含沉淀物和悬浮物,尤其是纤维性材料。油在使用前还需去湿,以保证高电阻率。

在理想的条件下,充油设备是封闭的,与环境隔离。然而,大部分充油开关设备是自由通风的,容器中油的水分含量会与环境达到平衡。部分设计者和制造商需特别注意所有固体绝缘和油之间的工作兼容性。

设备的污染可能发生在使用中,操作者应建立检验和维护程序,这些程序还应使设备污染和任何一次替换所用油的污染减少到最小。

如果开关设备内部的油成为严重污染,就会发生电气故障,以油中电气短路的形式,或更加常见的在油和固体绝缘之间越过连接。这些短路故障电流很大,备用电气保护限制其持续时间。然而,邻近短路电弧的油可能蒸发,从而产生足够的可燃气体,导致灾难性故障。为减少人员和周围建筑的风险,在变电站设计阶段就要给出安全方面的考虑。

参 考 文 献

- [1] IEC Guide 104 The preparation of safety publications and the use of basic safety publications and group safety publications
- [2] ISO/IEC Guide 51 Safety aspects—Guidelines for their inclusion in standards
- [3] ISO 2719:2002 Determination of flash point—Pensky—Martens closed cup method
- [4] LESSARD M-C. et al., Impact of a Fire in Electrical Equipment Containing Insulating Oil Contaminated with Polychlorinated Biphenyls, CIGRE 2012, C3-101
- [5] HALLERBERG P.E., Less-flammable liquids used in transformers, Underwriters Laboratories Inc. IEEE Industrial Applications Magazine, Vol.5, No. 1, January 1999
- [6] IEC 60867 Insulating liquids—Specifications for unused liquids based on synthetic aromatic hydrocarbons
- [7] IEC 61039 Classification of insulating liquids
- [8] IEC 60076-8 Power transformers—Part 8: Application guide
- [9] IEC 62271-202 High-voltage switchgear and controlgear—Part 202: High-voltage/lowvoltage prefabricated substation
- [10] ISO 14000 Environmental management systems
- [11] IEC 60141-1 Tests on oil-filled and gas-pressure cables and their accessories—Part 1: Oil-filled, paper or polypropylene paper laminate insulated, metal-sheathed cables and accessories for alternating voltages up to and including 500 kV
- [12] LANFRANCONI G. M., VERCELLIO, CIGRE, B., Fire-retardant oil-filled cables, paper 21-11, 1986
- [13] FOATA, M., Power transformer tank rupture, Proceedings of the Annual Meeting of the Canadian Electrical Association, Toronto, 1994
- [14] IEC 60055-1 Paper-insulated metal-sheathed cables for rated voltages up to 18/30 kV (with copper or aluminium conductors and excluding gas-pressure and oil-filled cables)—Part 1: Tests on cables and their accessories
- [15] IEC 60708:2005 Low-frequency cables with polyolefin insulation and moisture barrier polyolefin sheath
- [16] IEC 60794-1-1:2011 Optical fibre cables—Part 1-1: Generic specification—General
- [17] IEC 60836:2005 Specifications for unused silicone insulating liquids for electrotechnical purposes
- [18] IEC 60963:1988 Specification for unused polybutenes
- [19] IEC 61099:2010 Insulating liquids—Specifications for unused synthetic organic esters for electrical purposes
- [20] IEC 61144:1992 Test method for the determination of oxygen index of insulating liquids
- [21] IEC 61197:1993 Insulating liquids—Linear flame propagation—Test method using a glass-fibre tape
- [22] IEC 62271-105:2012 High-voltage switchgear and controlgear—Part 105: Alternating current switch-fuse combinations for rated voltages above 1 kV up to and including 52 kV
- [23] CHAN, J.C. McALISTER, R.C. and COMETA, R. Flame-retardant Insulating Liquids for Oil—Paper Power Cables. IEEE International Symposium, Boston, USA, 1988
- [24] DIRNBOCK, J., PREISS, P. and SCHIFFER, Der Silicontransformator im Brandgeschehen, R.S.

ETZ No. 16, 1984 (only available in German).

[25] FALTERMEIER, J.F and GUILBERT, B. Trafos in der Feuertaufe, Betriebs Technik, August 1990 (only available in German)

[26] GIFFORD, L.N. and ORBECK, T. Evaluation of the long-term capability of a high-temperature insulation system using silicone liquid as a dielectric coolant, IEEE transactions, Industrial applications 1984

[27] GUILBERT, B. and FALTERMEIER, J.F. Un nouveau transformateur HTA/BT pour les réseaux ruraux de distribution publique Revue générale d'électricité, December 1992, No. 11 (only available in French)

[28] NORTHRUP, S.D. The evaluation of less-flammable transformer liquids, 5th BEAMA International Electrical Insulation Conference, 1986

[29] PECK, G.C. Fire and explosion hazards of liquid-filled electrical equipment. Part 1, An overview. Part 2, Distribution transformers. The Insurance Technical Bureau (London). Publication R84/148, 1984

[30] VUARCHEX, P. Huiles et liquides isolants, Techniques de l'ingénieur, June 1995 (only available in French)

[31] WADDINGTON, F.B. A new synthetic ester fluid for transformers, Proceedings IEEE/NEMA Electrical/Electronic Insulation Conference, Boston, USA, 3-11 1979, pp 211-213

[32] WILSON, A. C. M. Insulating Liquids; their use, manufacture and properties, Peter Perignus Ltd., 1980

[33] Requirements and tests applicable to fire-resistant hydraulic fluids used for power transmission and control, Doc. No. 6746/10/91/EN, April 1994. European Commission

[34] YASHIDA et al., Evolution of power capacitors as a result of new material development, CIGRE Report 15.01, 1980

[35] Modern power transformer practice, (Editor: R. Feinberg). John Wiley and Sons, New York, 1979

[36] PCB Capacitor fire at IREQ's high-voltage laboratory and subsequent decontamination, Proceedings 1985 EPRI PCB Seminar. Report CS/EA/EL-4480, pp 9-17 to 9-20, 1986

[37] AEIC C52-82, Specifications for impregnated-paper insulated cable, pressure type

[38] CENELEC HD 637 S1, Power installations exceeding 1 kV a.c., 1999

[39] NFC 17300, Conditions d'utilisation des diélectriques liquides. Première partie; Risques d'incendie (only available in French)

[40] NFPA 70, National Electrical Code®-2011 Edition, National Fire Protection Association, Quincy, Massachusetts, USA

[41] IEEE Std 241-1990 Recommended practice for electric power systems in commercial buildings

[42] IEEE Std 1221-1993, Guide for fire hazard assessment of electrical insulating materials in electrical power systems

[43] Factory Mutual Loss Prevention Data Sheet. Transformers (5-4) (14-8) January 1997

[44] Factory Mutual Approval Standard 6933. Less-Flammable Transformer Fluids, 1979

[45] Review on Insulating Liquids. CIGRE WG 15.02. April 1997

[46] DICKSON, M.R. The low-flammability transformer, ERA Report 87-0021, 1987

中华人民共和国
国家标准
电工电子产品着火危险试验 第24部分：
着火危险评定导则 绝缘液体
GB/T 5169.24—2018/IEC 60695-1-40:2013

*

中国标准出版社出版发行
北京市朝阳区和平里西街甲2号(100029)
北京市西城区三里河北街16号(100045)

网址: www.spc.org.cn

服务热线: 400-168-0010

2018年9月第一版

*

书号: 155066·1-61136

版权专有 侵权必究



GB/T 5169.24-2018