



# 中华人民共和国国家标准

GB/T 5169.18—2013/IEC 60695-7-1:2010  
代替 GB/T 5169.18—2005

---

## 电工电子产品着火危险试验 第 18 部分：燃烧流的毒性 总则

Fire hazard testing for electric and electronic products—  
Part 18: Toxicity of fire effluent—General guidance

(IEC 60695-7-1:2010, Fire hazard testing—  
Part 7-1: Toxicity of fire effluent—General guidance, IDT)

2013-12-31 发布

2014-07-13 实施

---

中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局 发布  
中国国家标准化管理委员会

## 目 次

前言 .....	Ⅲ
引言 .....	V
1 范围 .....	1
2 规范性引用文件 .....	1
3 术语和定义 .....	2
4 决定中毒危险的因素 .....	7
5 采用小规模试验方法评估燃烧流的中毒危险的通则 .....	9
6 试验方法的评估 .....	12
7 中毒危险数据和着火危险评估的相关性 .....	14
参考文献 .....	15
图 1 隔室中着火发展的不同阶段 .....	10
图 2 毒性试验方法的评价和考虑 .....	13
表 1 刺激物的 $F$ 值(源自 ISO 13571:2007) .....	8
表 2 着火类型的特征(源自 ISO 19706:2007) .....	11

## 前 言

GB/T 5169《电工电子产品着火危险试验》已经或计划发布以下部分：

- 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 3 部分：电子元件着火危险评定技术要求和试验规范制订导则
- 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
- 第 12 部分：灼热丝/热丝基本试验方法 材料的灼热丝可燃性试验方法
- 第 13 部分：灼热丝/热丝基本试验方法 材料的灼热丝起燃性试验方法
- 第 14 部分：试验火焰 1 kW 标称预混合型火焰 设备、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 27 部分：烟模糊 小规模静态试验方法 仪器说明
- 第 28 部分：烟模糊 小规模静态试验方法 材料
- 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 44 部分：着火危险评定导则 着火危险评定<sup>1)</sup>

本部分为 GB/T 5169 的第 18 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 5169.18—2005《电工电子产品着火危险试验 第 18 部分：将电工电子产品的火灾中毒危险减至最小的导则 总则》，与 GB/T 5169.18—2005 相比主要技术变化如下：

- 删除了评价火灾中毒危险原则的“概述”(2005 年版 4.1)；
- 增加了窒息物—一氧化碳和氰化氢引起机体失效剂量的计算公式(见 4.3.2)；
- 增加了部分重要刺激物致机体失能的体积分数值(F 值)(见 4.3.4 中表 1)；

1) 该部分尚在制定计划中。

- 增加了考虑燃烧流扩散体积的条款(见 4.4);
- 增加了逃生时间的评估条款(见 4.5);
- 增加了采用小规模试验方法评估燃烧流的中毒危险的通则(见第 5 章);
- 增加了试验方法的适用性评估规定(见第 6 章)。

本部分使用翻译法等同采用 IEC 60695-7-1:2010《着火危险试验 第 7-1 部分:燃烧流的毒性 总则》,但按 GB/T 20000.2—2009 的规定作了少量编辑性修改,并删除了第 1 章中最后两段资料性内容。

本部分为与现有标准系列一致,将标准名称改为《电工电子产品着火危险试验 第 18 部分:燃烧流的毒性 总则》。

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:广州威凯检测技术有限公司、公安部四川消防研究所、广东出入境检验检疫局检验检疫技术中心、深圳市计量质量检测研究院、深圳出入境检验检疫局、中国赛宝实验室、武汉计算机外部设备研究所、中国电子技术标准化研究所。

本部分主要起草人:吴倩、夏庆云、赵成刚、武政、何益壮、张颖、张南峰、张元钦、陈兰娟、张效忠、王忠义、毕凯军。

本部分于 2005 年首次发布,本次为第一次修订。

## 引 言

电工电子产品经常卷入火灾中。然而,除某些特定场所(如发电站、运输繁忙的交通隧道和计算机房)外,电工电子产品在数量上通常不是构成中毒危险的主要来源。例如,在家庭住所和公共场所,电工电子产品与其他物品相比(如家具)是一个非常小的燃烧流来源。

GB/T 5169 与 IEC 60695-7 中涉及燃烧流毒性的系列标准出版物是基于 ISO/TC 92 中消防安全学的不断演变而来。

本部分与 ISO/TC 92(SC 3)在 ISO 19706:2007 中描述的火灾中毒危险所发展出的消防安全原则一致。电工电子产品的着火危险评定总则在 IEC 60695-1-10 和 IEC 60695-1-11 中有提供。火灾中逃生时间的预估导则在 ISO 13571:2007 中提供。燃烧流的致命毒效测定则在 ISO 13344:2004 中有表述。

1989 年,ISO/TR 9122-1 表达了以下观点:

“正如我们目前了解的,小规模毒效试验不宜作监管手段。它们不能为材料在火灾中产生毒气的倾向提供分级顺序。所有现行试验都有局限性,因为其无法重现火势发展的动力学过程,该过程决定了全尺寸火灾中燃烧流的时间-浓度曲线,反映的是电工电子产品而非材料对火灾的响应。这种局限性是至关重要的,因为据目前了解到的,燃烧流毒性作用大小除了与燃烧材料的化学组成有关外,主要还依赖于燃烧的速率和燃烧状态。”

正因为这些限制,IEC/TC 89 制定了 IEC 60695-7-50,而 ISO 也相继制定了 ISO/TS 19700:2007<sup>[1]</sup>。两项标准使用的是相同的仪器。这是一个实用性的小规模试验仪器,可以用于测定毒效,它的优点是可以模拟火灾中确定的阶段,所获得的毒效数据可适用于全尺寸情况下的危险评估。这两种试验方法用空气流通和温度的变化给出不同的物理着火模型,但是 ISO 试验方法另外还使用了当量比作为一个关键的参数。

将着火及其人员伤亡的迹象结合试验着火及燃烧毒性研究的数据表明,有罕见高毒性的化学物质并不是重要的(见 4.3.5)。目前为止,一氧化碳是中毒危险中最重要的成分。其他主要的成分有氰化氢,二氧化碳和刺激性气体。同时,也存在一些重要的、给生命带来威胁的非毒性因素,如热、辐照、缺氧以及烟模糊的作用,这些可参见 ISO 13571。烟模糊总则可参见 GB/T 5169.25—2008<sup>[2]</sup>。

IEC/TC 89 认为,电工电子产品中毒危险的有效缓解最好通过提高耐起燃性和降低火势发展速率的试验和规范来实现,这就是限制燃烧流的暴露等级。

# 电工电子产品着火危险试验

## 第 18 部分:燃烧流的毒性 总则

### 1 范围

GB/T 5169 的本部分提供了影响电工电子产品火灾中毒危险因素的指南;同时,也提供了 ISO/TC 92 (SC 3)推荐的评估和降低火灾中毒危险的方法,这些方法在 ISO 19706、ISO 13344 和 ISO 13571 中有表述。

没有单一的试验可以真实地评定火灾的中毒危险。小规模毒效试验本身无法评定火灾的中毒危险。现行的毒性试验致力于测量实验室中产生的燃烧流的毒效。然而,毒效不应与中毒危险混淆。

### 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。

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 60695-7-3 着火危险试验 第 7-3 部分:燃烧流的毒性 试验结果使用和说明(Fire hazard testing—Part 7-3: Toxicity of fire effluent—Use and interpretation of test results)

ISO 13344:2004 燃烧流致命毒效的测定(Estimation of the lethal toxic potency of fire effluents)

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

ISO 13571:2007 火灾生命威胁部分 使用火灾数据预估逃生时间的指导方针(Life-threatening components of fire—Guidelines for the estimation of time available for escape using fire data)

ISO 16312-1 火灾危险和风险评估的燃烧生成物毒性物理燃烧模型有效性的评估导则 第 1 部分:标准/着火危险和风险评估用获取燃烧流毒性数据的物理着火模型的可行性评估指南 第 1 部分:标准(Guidance for assessing the validity of physical fire models for obtaining fire effluent toxicity data for fire hazard and risk assessment—Part 1: Criteria)

ISO/TR 16312-2 火灾危险和风险评估的燃烧生成物毒性物理燃烧模型有效性的评估导则 第 2 部分:评估独立的物理防火模型(Guidance for assessing the validity of physical fire models for obtaining fire effluent toxicity data for fire hazard and risk assessment—Part 2: Evaluation of individual physical fire models)

ISO 19701 火灾烟气的取样和分析方法(Methods for sampling and analysis of fire effluents)

ISO 19702 燃烧废物的毒性试验 用 FTIR 气体分析对燃烧废气中气体和蒸气的分析指南(Toxicity testing of fire effluents—Guidance for analysis of gases and vapours in fire effluents using FTIR gas analysis)

ISO 19703:2005 燃烧中有毒气体的生成和分析 实验室燃烧中物质产生、当量比和燃烧效率的计算(Generation and analysis of toxic gases in fire—Calculation of species yields, equivalence ratios and combustion efficiency in experimental fires)

ISO 19706<sup>2)</sup>:2007 火灾对人类威胁的评定指南(Guidelines for assessing the fire threat to people)

2) ISO 9122-1:1989《燃烧流的毒性试验 第 1 部分:通则》已经被撤销,并被 ISO 19706:2007 替代。

### 3 术语和定义

ISO/IEC 13943:2008 界定的术语和定义适用于本文件,为方便使用,将其中部分复制于下文。

#### 3.1

**急性毒性 acute toxicity**

导致快速产生有毒作用的毒性。

参考:毒效 toxic potency

[ISO/IEC 13943:2008,定义 4.5]

#### 3.2

**窒息物质 asphyxiant**

引起组织缺氧而导致中枢神经系统衰弱或心血管系统受影响的有毒物质。

注:能产生意识丧失和最终死亡。

[ISO/IEC 13943:2008,定义 4.17]

#### 3.3

**燃烧(不及物动词) burn(vi)**

经受燃烧。

[ISO/IEC 13943:2008,定义 4.28]

#### 3.4

**燃烧(及物动词) burn(vt)**

引起燃烧。

[ISO/IEC 13943:2008,定义 4.29]

#### 3.5

**可燃的(形容词) combustible(adj)**

能够起燃和燃烧的。

[ISO/IEC 13943:2008,定义 4.43]

#### 3.6

**可燃物(名词) combustible(noun)**

能够燃烧的物品。

[ISO/IEC 13943:2008,定义 4.44]

#### 3.7

**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/IEC 13943:2008,定义 4.46]

#### 3.8

**浓度 concentration**

单位体积的质量。

注1:对于燃烧流,其代表性单位为克每立方米( $\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ )。

注2:对于毒性气体,浓度通常表达为  $T=298 \text{ K}$  和  $p=101.325 \text{ kPa}$  时的体积分数,其代表性单位为微升每升( $\mu\text{L}/\text{L}$ ),相当于  $\text{cm}^3/\text{m}^3$  或  $10^{-6}$ 。

注3:当温度为  $T$ 、大气压为  $p$  时,气体浓度可以通过它的体积分数(假设为理想大气的性能)算得,即用体积分数乘以气体在该温度和大气压下的密度。

[ISO/IEC 13943:2008, 定义 4.52]

### 3.9

#### 当量比 equivalence ratio

化学当量混合气所要的燃料/空气比例除以实际燃料/空气比例。

注 1: 标准情况下,干燥空气含有 20.95% 体积的氧气。实际上输入气体中氧气的浓度可能变化,当量比的计算标准需要以干燥空气为基准。

注 2: 当量比是无量纲的。

[ISO/IEC 13943:2008, 定义 4.81]

### 3.10

#### 暴露剂量 exposure dose

可吸入毒性气体或燃烧流的最大量的测定,可结合浓度-时间曲线中的面积来计算。

注 1: 对于燃烧流,其代表性单位为克分每立方米( $\text{g} \cdot \text{min} \cdot \text{m}^{-3}$ )。

注 2: 对于毒性气体,其代表性的单位为微升分每升( $\mu\text{L} \cdot \text{min} \cdot \text{L}^{-1}$ )(在  $T=298 \text{ K}$ 、 $p=101.325 \text{ kPa}$  时);见体积分数。

[ISO/IEC 13943:2008, 定义 4.89]

### 3.11

#### 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,其中的着火(3.12)和火灾(3.13)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/IEC 13943:2008, 定义 4.96]

### 3.12

#### 着火 fire

(受控的)有意提供有用效果的自燃,且在时间和空间上控制其燃烧的程度。

[ISO/IEC 13943:2008, 定义 4.97]

### 3.13

#### 火灾 fire

(非受控的)无意提供有用效果的自燃,且不在时间和空间上控制其燃烧的程度。

[ISO/IEC 13943:2008, 定义 4.98]

### 3.14

#### 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/IEC 13943:2008, 定义 4.105]

### 3.15

#### 着火危险 fire hazard

由着火引起不期望的潜在性物质或条件。

[ISO/IEC 13943:2008, 定义 4.112]

### 3.16

#### 着火风险 fire risk

着火伴有其后果可量化测定的可能性。

[ISO/IEC 13943:2008, 定义 4.124]

### 3.17

#### 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：其典型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/IEC 13943:2008, 定义 4.129]

3.18

**火焰蔓延 flame spread**

火焰前沿的传播。

[ISO/IEC 13943:2008, 定义 4.142]

3.19

**轰燃 flashover**

〈着火的阶段〉在一定范围内，可燃材料的整个表面突然转入着火状态。

[ISO/IEC 13943:2008, 定义 4.156]

3.20

**有效浓度分数 fractional effective concentration; FEC**

一种刺激物的浓度与预期对普通敏感性暴露对象会产生特定影响的浓度之比。

注 1：概念上，FEC 涉及所有影响，包括无能力、致命性或其他最终影响。

注 2：如果不是用于某种特定的刺激物时，术语 FEC 代表燃烧氛围中所有刺激物的 FEC 的总和。

注 3：有效浓度分数是无量纲的。

[ISO/IEC 13943:2008, 定义 4.159]

3.21

**有效剂量分数 fractional effective dose; FED**

一种窒息性物质的暴露剂量与预期对普通敏感性暴露对象会产生特定影响的窒息性物质的暴露剂量之比。

注 1：概念上，FED 涉及所有影响，包括无能力、致命性或其他最终影响。

注 2：如果不是用于某种特定的窒息物质时，术语 FED 代表燃烧氛围中所有窒息物质 FED 的总和。

注 3：有效剂量分数是无量纲的。

[ISO/IEC 13943:2008, 定义 4.160]

3.22

**完全着火 fully developed fire**

火灾中可燃材料全部转化为着火的状态。

[ISO/IEC 13943:2008, 定义 4.164]

3.23

**换气过度 hyperventilation**

呼吸的速度和/或深度超过正常情况。

[ISO/IEC 13943:2008, 定义 4.180]

3.24

**起燃 ignition**

持久的起燃(不推荐) sustained ignition(deprecated)

〈通常〉燃烧的开始。

[ISO/IEC 13943:2008, 定义 4.187]

3.25

**无能力 incapacitation**

身体无能力完成特定任务的状况。

注：例如从火灾中逃生的特定任务。

[ISO/IEC 13943:2008, 定义 4.194]

## 3.26

**刺激物(名词) irritant(noun)**

〈感观的/上呼吸道的〉会刺激眼睛、鼻子、口、咽喉以及呼吸道中神经受体的气体和气溶胶,同时引起不同程度的不适和疼痛,产生许多生理防御反应。

注:生理防御反应包括闭眼、流泪、咳嗽,以及支气管收缩的反射动作。

[ISO/IEC 13943:2008,定义 4.203]

## 3.27

**刺激物(名词) irritant(noun)**

〈肺部的〉能刺激下呼吸道神经受体的气体和气溶胶,可能引起呼吸不适。

注:呼吸不适的例子有呼吸困难和呼吸速率加快。严重的时候,可能在暴露几小时后发生肺炎或肺水肿(可能致死)。

[ISO/IEC 13943:2008,定义 4.204]

## 3.28

**致命暴露剂量 lethal exposure dose 50**

$LC_{t_{50}}$

$LC_{50}$ 与测定期间暴露时间的乘积。

注1: $LC_{t_{50}}$ 为致命毒效的量。

注2:对于燃烧流,其代表性的单位为克分每立方米( $g \cdot \min \cdot m^{-3}$ )。

注3:对于毒性气体,在  $T = 298 \text{ K}$ 、 $p = 101.325 \text{ kPa}$  时,其代表性的单位为微升分每升( $\mu\text{L} \cdot \min \cdot \text{L}^{-1}$ );见体积分数。

[ISO/IEC 13943:2008,定义 4.208]

## 3.29

**物理着火模型 physical fire model**

一种实验室流程,包括仪器、环境,以及用于表示着火的某一阶段的着火试验程序。

[ISO/IEC 13943:2008,定义 4.251]

## 3.30

**热解 pyrolysis**

由热作用引起的物质的化学分解。

注1:热解通常针对有焰燃烧开始之前的着火阶段。

注2:在火灾科学中,不设定有无氧气的存在。

[ISO/IEC 13943:2008,定义 4.266]

## 3.31

**小规模着火试验 small-scale fire test**

在小尺寸试样上进行的着火试验。

注:在最大尺寸不超过 1 m 的试样上进行的着火试验通常称为小规模试验。

[ISO/IEC 13943:2008,定义 4.292]

## 3.32

**烟 smoke**

燃烧流的可见部分。

[ISO/IEC 13943:2008,定义 4.293]

## 3.33

**有毒的 toxic**

引起中毒的。

注:一个有毒物质对活的生物体产生不利作用,例如,疼痛、麻醉或死亡。

[ISO/IEC 13943:2008,定义 4.335]

3.34

**有毒气体 toxic gas**

有毒的蒸气。

注：在燃烧流环境下，该术语通常是适用于单独的化学元素或化合物。

[ISO/IEC 13943:2008, 定义 4.336]

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/IEC 13943:2008, 定义 4.337]

3.36

**毒效 toxic potency**

引起特定中毒效果所需的有毒物质量的量度。

注：毒效的值越小，毒性越大；反之亦然。

[ISO/IEC 13943:2008, 定义 4.338]

3.37

**中毒风险 toxic risk**

以下因素的乘积：

——在规定的技术操作或状态下预计发生中毒危险的可能性；

——预计的中毒危险发生的结果或带来的伤害程度。

注：中毒风险是着火风险的一部分。

[ISO/IEC 13943:2008, 定义 4.339]

3.38

**有毒物质 toxicant**

**毒素 toxin**

能引起中毒的物质。

[ISO/IEC 13943:2008, 定义 4.340]

3.39

**毒性 toxicity**

能引起中毒的特性。

[ISO/IEC 13943:2008, 定义 4.341]

3.40

**体积分数 volume fraction**

〈气体混合物中某种气体的〉以下两个参数的比值：

——在确定的温度和大气压下，气体单独占的体积，比上

——在相同温度和大气压下，混合气体占的体积。

注 1：在温度为  $T$ 、大气压为  $p$  的条件下，某种气体的浓度可根据它的体积分数（假设为理想气体的状况）计算出来，就是用体积分数乘以这种气体在温度为  $T$ 、大气压为  $p$  时的密度。

注 2：除非另有规定，温度和大气压假定为 298 K 和 101.325 kPa。

注 3：体积分数是无量纲的，通常用微升每升 ( $\mu\text{L}/\text{L}$ ) 表达，相当于  $\text{cm}^3/\text{m}^3$  或  $10^{-6}$ ；或用百分数表达。

[ISO/IEC 13943:2008, 定义 4.351]

3.41

**产率 yield**

燃烧期间生成的燃烧产物的质量除以试样的质量。

注：产率是无量纲的。

[ISO/IEC 13943:2008, 定义 4.354]

## 4 决定中毒危险的因素

### 4.1 中毒危险的评估

火灾中毒危险评估涉及的主要问题：

- a) 燃烧或被热解的产品有多少？及其速率是多大？
- b) 燃烧流的毒性如何？
- c) 燃烧流扩散到多大的体积内？
- d) 妨碍逃生的情况如何？

### 4.2 燃烧速率

燃烧流的产生量是与被燃烧产品或热解的量成比例的。燃烧流的生成速率则由其燃烧或热解速率确定。因此，为了将中毒危险减至最小，有必要降低起燃性和燃烧速率，即降低火势发展和火焰蔓延的速率。

### 4.3 燃烧流的毒性

#### 4.3.1 概述

燃烧流是由固态颗粒、液态气溶胶，以及气体组成的复杂混合物。虽然各种燃烧可能产生成分差异很大的燃烧流，但毒性试验表明，气体是引起急性毒性的主要因素。主要的急性毒性效应可以分为两类：

- a) 窒息作用；
- b) 感官和/或上呼吸道刺激。

窒息物见 4.3.2。引起感官和/或上呼吸道刺激物见 4.3.4。

注：ISO 13344:2004 给出了计算 30 min 致命 FED 值的几个公式。这些公式用类似的方式处理窒息和刺激，且都使用小鼠的 30 min  $LC_{50}$  值。ISO 13571:2007 建议如果要使用这些公式，那么当涉及到致无能力和致命时， $LC_{t_{50}}$  的一半为近似暴露剂量。

另外，也存在其他重要的非毒性的生命威胁，包括热和辐照、缺氧以及烟模糊。

大量研究表明，大多数的产品和材料产生的燃烧气体具有类似的毒效。没有任何研究证明具有罕见高毒性的物质在火灾中的毒效更大。

火灾中的可燃性燃料通常是包含材料和产品的混合物，这些混合物的类型和相对量无法确定。在这些情况下，为了评估中毒危险，可能需要使用一个常用的  $LC_{t_{50}}$  值，即轰燃前，在通风良好的火灾情况下为  $900 \text{ g} \cdot \text{min} \cdot \text{m}^{-3}$ ，轰燃后削弱为  $450 \text{ g} \cdot \text{min} \cdot \text{m}^{-3}$  [3-5]。在评估人员逃生时，ISO 13571:2007 建议  $LC_{t_{50}}$  值在轰燃前和轰燃后分别为  $450 \text{ g} \cdot \text{min} \cdot \text{m}^{-3}$  和  $220 \text{ g} \cdot \text{min} \cdot \text{m}^{-3}$ 。

试验数据表明，电工电子产品的燃烧流毒性不比其他材料或产品（如家具和建筑材料）大。ISO 19706:2007 中有一个参考文献目录，在参考文献[5]、[6]和[7]中有一些补充资料。

#### 4.3.2 窒息物

窒息是火灾中引起死亡的主要原因。窒息物是一种有毒物质，会造成缺氧（供氧量或机体组织用氧量下降），使中枢神经系统的机能降低，引起意识丧失并最终导致死亡。这些有毒物质的作用取决于其累积量，也就是浓度和时间或暴露持续时间的函数，有毒物质作用的严重性随累积量的增加而增大。在火灾气体有毒物质中，对一氧化碳和氰化氢气体的研究最多，而且对它们致无能力和致命性的认识也最清楚 [8,9]。

评估中毒危险分析中的窒息物质成分的基本原理涉及每种毒性物质的暴露剂量,也就是其浓度-时间曲线下方的积分面积(见 ISO 13571:2007)。每种窒息物的有效剂量分数(FEDs)在每个离散递增时间点测定。累积总量超过指定临界值的时间代表可用于逃生的时间,可选作安全指标。

对于一氧化碳,其致无能力的剂量(体积分数×时间)为  $0.035 \text{ min}^{-10}$ 。

对于氰化氢,其致无能力的剂量却并非一个常数,而是与其体积分数有关<sup>[8]</sup>。获取  $30 \times 10^{-6} \sim 400 \times 10^{-6}$  体积分数的经验分析表明,FED 可以通过使用一个指数表达式计算得到:

$$FED = \sum_{t_1}^{t_2} \frac{\exp(X_{\text{HCN}}/4.3 \times 10^{-5})}{220 \text{ min}} \times \Delta t$$

式中,  $X_{\text{HCN}}$ 是在时间增量  $\Delta t$  中 HCN 体积分数的平均值(见 ISO 13571:2007)。

当体积分数低于  $30 \times 10^{-6}$  时,采用下面的公式:

$$FED = \sum_{t_1}^{t_2} (304.4 \text{ min}^{-1} \times X_{\text{HCN}}) \times \Delta t$$

#### 4.3.3 二氧化碳

如果二氧化碳的体积分数超过 0.02,则认为窒息物的有效暴露剂量因换气过度而增加,其换气过度因子  $\exp(X_{\text{CO}_2}/0.05)$  中的  $X_{\text{CO}_2}$  等于二氧化碳的体积分数(见 ISO 13571:2007)。

#### 4.3.4 感官和/或上呼吸道刺激物

感官和/或上呼吸道刺激物会刺激到眼睛、鼻子、咽喉和上呼吸道的神经受体。刺激作用只与浓度有关,眼部和上呼吸道会连续性的从轻微的不适一直到剧痛。这些急性效应会对安全逃生造成威胁。

浓度足够高时,大部分的感官和/或上呼吸道刺激物可以深入到肺部,造成肺部刺激,这不但与浓度有关,也和暴露于刺激物的时间有关(也就是吸入剂量)。通常这些作用都不是急性的,因此也不是对安全逃生的一种威胁。但是,肺刺激可能导致暴露后的呼吸困难甚至在几小时到几天后由于肺水肿发生死亡。

评估中毒危险分析中的刺激性气体成分的基本原理只涉及每种刺激物的浓度。每种窒息物质的有效浓度分数(FECs)在离散递增时间点测定。累积总量超过指定的临界值的时间代表可用于逃生的时间,可选作安全指标。

刺激性气体的体积分数被认为严重影响人员采取有效行为完成逃生的能力。一些重要刺激物的 F 值见表 1(见 ISO 13571:2007)。

表 1 刺激物的 F 值(源自 ISO 13571:2007)

刺激物	F 值 × 10 <sup>5</sup>
丙烯醛	30
二氧化硫	150
甲醛	250
二氧化氮	250
氟化氢	500
溴化氢	1 000
氯化氢	1 000

这些气体的分析方法导则在 ISO 19701 中有给出。

#### 4.3.5 罕见高毒性和急剧毒效

罕见高毒性是指在火灾中不常遇到的中毒效应(即除窒息和刺激以外的中毒现象)。正如引言中所述,目前没有报告显示具有罕见高毒性的产品在火灾中起着重要的作用。急剧毒效是指在一定质量基础上,这类燃烧产物的毒性比一般燃烧流的毒性大得多。

目前尚无由急剧毒效引起危险的火灾实例。

#### 4.4 扩散体积

由于燃烧流的稀释,它的毒性也会降低,因此,为了评定毒性危害,燃烧流扩散的体积也必须已知或假设。

#### 4.5 逃生时间

在火灾中的可用逃生时间是指超出这个时间后人员就无法再采取有效行为完成他们的逃生。评估可用逃生时间应考虑:1)窒息性火灾气体;2)刺激性火灾气体;3)高温;和4)烟模糊发生。可用逃生时间就是这四种情况各自发生的最短的那个时间。

ISO 13571:2007 提供了使用火灾数据评估可用逃生时间的导则。

### 5 采用小规模试验方法评估燃烧流的中毒危险的通则

#### 5.1 概述

小规模毒性试验本质上由两部分组成:

- a) 分解条件(物理着火模型,见 5.2):能产生与火灾某一特定阶段相同成分的燃烧流;
- b) 评估或计算燃烧流毒效的评价方法:一种是将动物暴露于可控燃烧流中,以监测它们的反应来评估;另一种是对燃烧流进行化学分析,并通过它们的浓度来评估。

IEC 60695-7-2 总结了常用的评估致命和半致命急剧毒效以及其他毒性的试验方法,包括与火情相关的特殊观察,并给出了这些方法的使用建议。

ISO 16312-1 给出了物理着火模型有效性的评定导则,以获得燃烧流的毒性数据,ISO/TR 16312-2 则是用 ISO 16312-1 给的标准评定 12 种试验方法。

任何试验方法的关键是能够将毒效或观察到的浓度与试验中材料的质量损失联系起来。没有这些信息,获得的数据无法用于评估特定火情的中毒危险。这是因为小规模毒效试验本身不能对着火危险进行评估。毒效数据必须与独立测定的燃烧数据以及其他相关数据(例如假定的扩散体积)相结合才能评估中毒危险。不应混淆毒效和中毒危险两个概念。

ISO 19706:2007 的 4.3 部分指出“因为燃烧流对人的影响取决于作为燃烧流产生源头的可燃物以外的其他因素,燃烧流的成分数据必须与着火危险或风险评定中设施、着火和人的相关信息联系起来,不能单独用于做着火危险或风险的指标。”

降低起燃的可能性和降低随后的火焰蔓延速率是降低中毒危险应首先考虑的。

#### 5.2 物理着火模型

给定材料的燃烧流组分不是该材料的固有属性,关键还取决于该材料的燃烧条件。因此,毒性产物的产率和燃烧流的毒效是取决于燃烧的条件。燃料的化学成分、分解温度和通风量是影响燃烧流组分

的主要变量,也是影响毒效的主要变量。

这些变量具有重要的作用,因为它们影响碳向碳的氧化物(CO、CO<sub>2</sub>以及重要的CO<sub>2</sub>/CO的相对比例)转化的效率。较低的CO<sub>2</sub>/CO比值表明较高的CO含量,这会导致较低的毒效值(也就是指有更多的毒性燃烧流)。

ISO 19703:2005提供了计算毒性产物产率的定义和公式,以及得到当量比和燃烧效率时的着火条件。并提供了实际情况的计算例子。这些方法可以得出试验着火中瞬间值或平均值,其中的时间分辨数据是可用的。

标准试验方法规定的试验条件(物理着火模型)能够与想要得到的着火阶段相关联并能重现这些阶段是非常重要的。ISO 19706:2007公布了着火类型的一般分类,见表2。氧浓度和辐照/温度是影响燃烧流毒效的重要因素。实验室规模试验的条件可由表中获得,目的是为了尽可能的与全尺寸的火灾条件一致。但是,由于火灾包含一系列复杂和相互关联的物理和化学现象,导致实验室规模的仪器很难全方位地模拟一场火灾。物理着火模型的有效性或许是所有火灾试验最难的技术问题。

起燃后,根据环境条件以及可燃材料的放置情况,火势发展可能出现不同的方式。但是,火势发展的一般模型可以在隔室中建立,它的温度-时间曲线大致显示为三个阶段,外加一个衰退阶段(见图1)。

阶段1(无焰分解)是维持燃烧之前的着火开始阶段,燃烧室温度几乎没有增加。这个阶段的主要危险是烟和毒性燃烧物。着火类型1a)、1b)和1c)在这个阶段都会发生。阶段2(发展中的火)从起燃开始到燃烧室温度成指数增加结束。这个阶段的主要危险是火焰的蔓延、热释放、烟的产生和毒性燃烧流。着火类型2相当于这一阶段。阶段3(完全着火)的开始是室内所有可燃物的表面分解到一定程度时,整个室内突然起燃,并伴随温度急速并大幅度的上升(轰燃)。着火类型3b)相当于这一阶段。

阶段3结束时,可燃物和/或氧气已被大量消耗,因此温度会以一定的速率下降,这也取决于系统的通风以及热量和质量转换特性。这个阶段通常被认为是衰退阶段。

其中的每一个阶段都可能产生不同的混合分解产物,反之,这些分解产物也会影响该阶段的燃烧流的毒性。

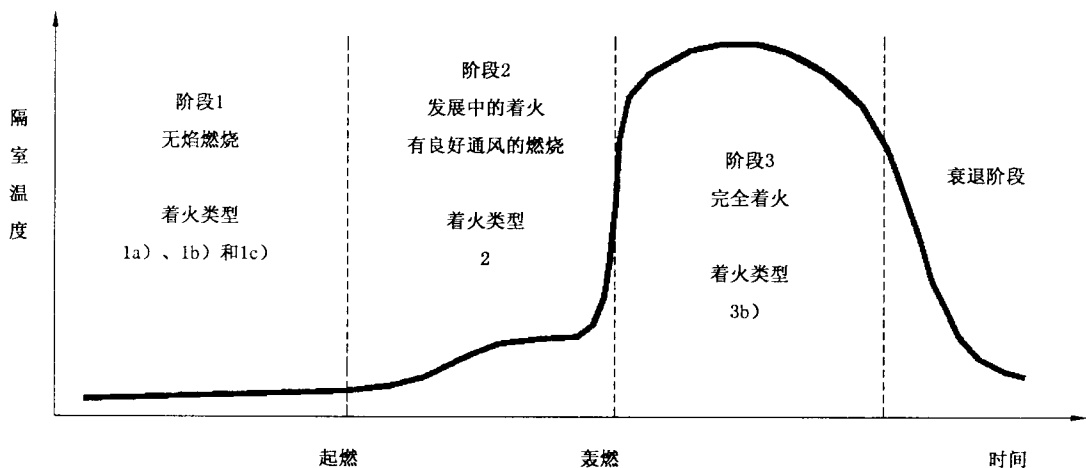


图 1 隔室中着火发展的不同阶段

表 2 着火类型的特征(源自 ISO 19706:2007)

着火类型	燃料表面的热通量 kW/m <sup>2</sup>	最高温度 ℃		氧气体积 %		燃料/空气当量比 (羽流)	[CO]/[CO <sub>2</sub> ] (体积分数)	(100×[CO <sub>2</sub> ])/([CO <sub>2</sub> ]+[CO]) %效率
		燃料表面	上层	通入	消耗			
1 无焰燃烧								
a) 自支持(焖燃)	不适用	450~800	25~85 <sup>d</sup>	20	20	—	0.1~1	50~90
b) 起源于外部辐射的有氧热解	—	300~600 <sup>a</sup>	<sup>b</sup>	20	20	<1	<sup>c</sup>	<sup>c</sup>
c) 起源于外部辐射的无氧热解	—	100~500	<sup>b</sup>	0	0	≥1	<sup>c</sup>	<sup>c</sup>
2 良好通风的有焰燃烧 <sup>d</sup>	0~60	350~650	50~500	≈20	≈20	<1	<0.05 <sup>e</sup>	>95
3 通风不足的有焰燃烧 <sup>f</sup>								
a) 小范围、局部着火,通常在不良通风的空间内	0~30	300~600 <sup>a</sup>	50~500	15~20	5~10	>1	0.2~0.4	70~80
b) 轰燃后的着火	50~150	350~650 <sup>a</sup>	>600	<15	<5	>1 <sup>h</sup>	0.1~0.4 <sup>i</sup>	70~90
<sup>a</sup> 指定可燃物的该上限低于良好通风有焰燃烧。 <sup>b</sup> 着火空间上层的温度主要由外部辐照源和空间几何学决定。 <sup>c</sup> 几乎没有数据,但是对于热解,该比值是由材料化学性、局部通风情况以及热源条件决定的,预计会在很大范围内变化。 <sup>d</sup> 相对整个空间或流入量来说,该类型着火的氧耗很少,火焰尖端在上层热气的下方或上层没有明显削弱至 CO 产生率明显增加,火焰接触其他物体时没有被截短,且燃烧速率受控于有效燃料。 <sup>e</sup> 该比值可能比耐火材料的值大一个数量级。当量比≈0.75 时,该比率没有明显增长;当量比在 0.75 到 1 之间时,该比率可能增长。 <sup>f</sup> 该类型着火的氧气需求量受通风口的限制;且火焰会扩至上层空间内。 <sup>g</sup> 假定与有良好通风的火焰燃烧类似。 <sup>h</sup> 没有测定羽流当量比;不适宜使用总的当量比。 <sup>i</sup> 测得较低比率的实例。通常,这些结果是来自房间通风口外的次要燃烧。								

### 5.3 静态试验方法

在静态试验中,试验样品在密闭箱中燃烧,燃烧流随时间不断积累。在一些试验中,用风扇搅动以避免燃烧流分层,使其均匀。然后取出样品进行分析。

### 5.4 动态试验方法

在动态试验中,来自试验样品的燃烧流通过排气系统以一定的可测量的流量抽出。取出样品进行分析,或者使用可连续测量的红外分析系统。



## 5.5 毒性的测量

### 5.5.1 概述

早期关于燃烧流毒性的研究主要是建立在对火灾气体的化学分析基础上,由于缺乏单组分气体的毒效数据以及对分解温度和通风作用的判定,经常会给出错误的结论。

20世纪70年代和80年代早期的工作致力于动物试验。因为完全了解燃烧流单一组分与可能存在的罕见高毒性物质之间的潜在相互作用,只能通过动物暴露试验来确定。

这项工作的结论是,燃烧流组分间仅存在适度的相互作用,而且燃烧流中没有罕见高效毒性的样本存在。绝大多数材料的燃烧流的毒效都在1.5个数量级范围内。

根据化学分析的结果和动物试验中所获得的基础毒理学数据,可以相当精确地计算出火灾气体混合物的毒效。这可以避免在毒效常规测定中对动物的使用需要,尽管公认有必要限制动物试验,但是当某一特定燃烧流的基础毒理学数据无法获得时,动物试验可能是必须的。

### 5.5.2 化学分析方法

化学分析方法是采用传统的实验室分析技术对物理着火模型释放的燃烧流中的各种气体浓度进行静态或动态的测定。德尔格管(Draeger tubes)气体检测仪,对燃烧流抽样进行湿法化学分析、红外光谱(包括傅里叶变换红外和非色散红外)分析、气相色谱-质谱分析,以及离子色谱分析。

ISO 19701描述了采集和分析燃烧流的方法,ISO 19702给出了用傅里叶变换红外(FTIR)光谱分析燃烧流中气体和蒸气的导则。

有些因素对化学分析技术的精确程度有重要的影响:

- a) 依据对试验材料成分的了解,选择用于分析的燃烧流种类应足以包含预期将会释放的种类。在任何情况下,都应测定二氧化碳、一氧化碳和氧气。
- b) 为了能将测得的气体浓度转换成试样单位质量损失的浓度,必须有一种可靠的方法对试验中试样的质量损失进行评估。
- c) 测得的气体浓度和质量损失数据肯定可以转化为毒效值。推算方法见 IEC 60695-7-3。

### 5.5.3 动物暴露方法

对动物试验方法很可能不再进行深入工作。

## 6 试验方法的评估

### 6.1 考虑因素

考虑物理着火模型或与需要评估的危险非常相关的模型,并选择与需要评估的火灾类似的物理模型的试验是很重要的(见 IEC 60695-7-2 和 ISO/TR 16312-2)。

在试验方法的选择中,所考虑的每一种方法都应被问及下面的问题:

- 如果该试验为产品试验,那么待测产品的几何构造能否适应该试验?
- 试验方法能否重现火灾中关注的阶段?
- 试验能否给出恰当形式的数据,并且这些数据有足够的辨别力和辨析率?

如果以上任何一个问题的答案是否定的,则应考虑修改或更换试验方法。

图2的流程图概括了评估一个现有试验方法在新的应用中的适用性所需的步骤。

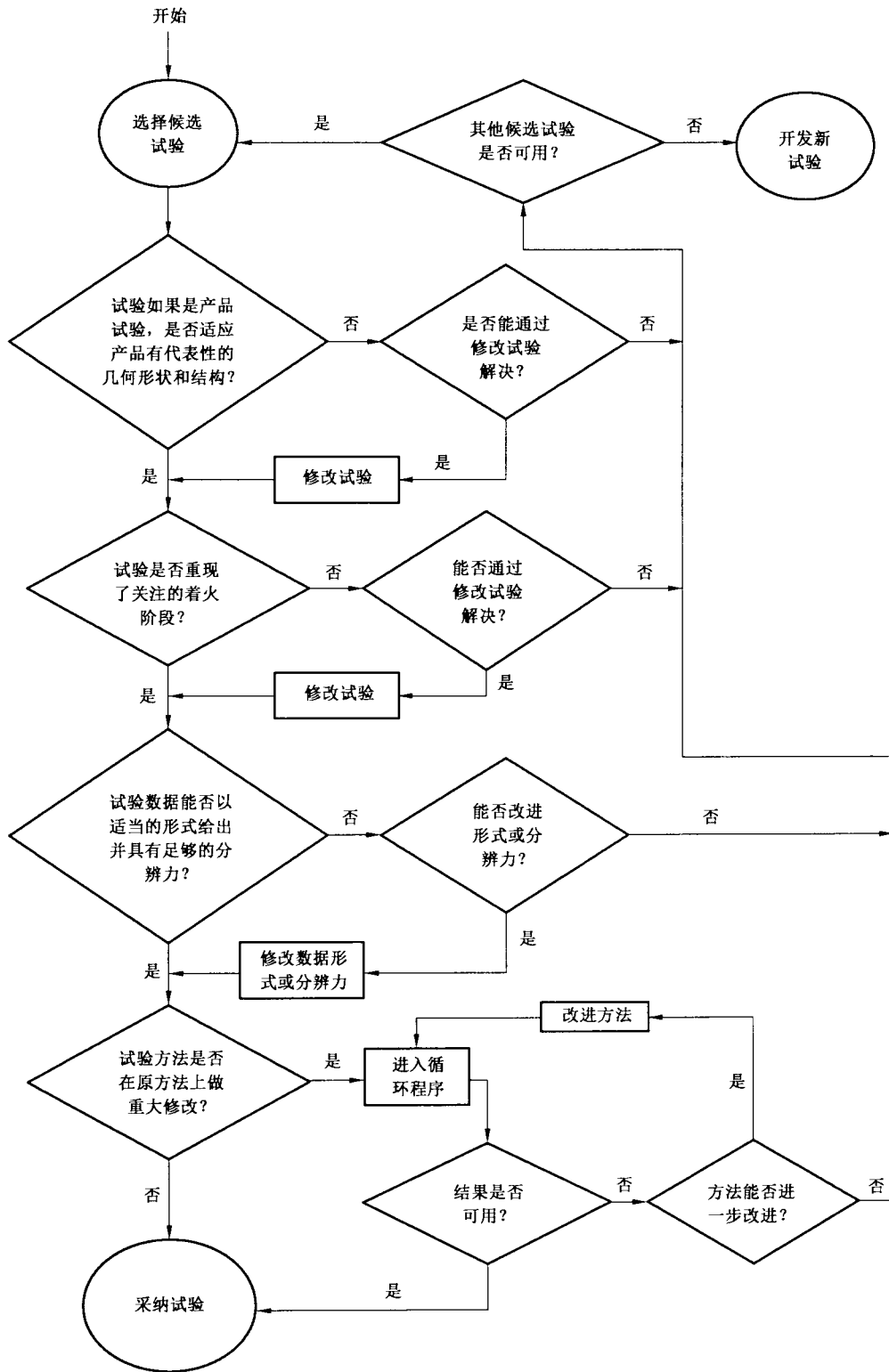


图 2 毒性试验方法的评价和考虑

## 6.2 试验样品的选择

可能需要测试不同类型的试验样品。在小规模毒性试验中,试验样品通常是一种基础材料(固体或

液体)或材料的混合物。在这种情况下,应选择最接近材料所经历相关火情的试验条件。

在产品试验中,试验样品是产品。在模拟产品测试中,试验样品是产品的代表性部分。

试验样品的性质很大程度上受试验尺寸的控制。小规模试验更适合测试材料和小型产品或较大产品的代表性样品。在较大规模的试验中,整个产品可能都要测试。如果要做一个选择,最好挑选最能反映最终使用情况的试验样品。

## 7 中毒危险数据和着火危险评估的相关性

ISO/TC 92 和 IEC/TC 89 正在研究使用消防安全工程方法评估着火危险。这种着火危险评估有助于消防安全的判定,它与现行标准的基本原理不同,现行标准中的单个试验应用于合格/不合格标准的制定。针对毒效的试验则不能给出合格/不合格的标准。试验结果只能在中毒危险综合分析中与其他着火数据一起使用。

影响中毒危险程度最重要的因素是燃烧流的产生量。这与火灾规模的大小成正比,反之,火灾规模的大小由起燃的容易程度和火势发展速率决定。因此,本部分的建议是,目前,可以通过延迟起燃和降低火势发展速率将火灾造成的中毒危险最小化。这些因素同样会降低氧气的消耗速率,热释放量和产烟量。

目前,如果获得的燃烧流毒效数据无法进行危险分析,建议将所有火情的毒效视为等效(见 4.3.1)。在基于质量损失模型的最初分析中,应考虑中毒危险与计算的燃烧流的吸入量的比例关系。

对产品的着火特性真实可行的评估只能通过对全尺寸样品在实际使用中的形式和放置方位进行测试来获得。一个单独的小规模试验不能代表产品的最终使用情况,只能是表示产品对选取的物理着火模型的反应。需要强调的是没有着火试验可以在正常情况下测量着火危险;另外,不能认为单一的标准着火试验的满意结果可以保证规定的安全水平。各种着火试验的结果将为确定及控制随后的着火危险提供信息。

## 参 考 文 献

- [1] ISO/TS 19700:2007 Controlled equivalence ratio method for the determination of hazardous components of fire effluents
- [2] GB/T 5169.25—2008 电工电子产品着火危险试验 第25部分:烟模糊 总则(IEC 60695-6-1:2005,IDT)
- [3] Peacock, R.D., Jones, W.W., Bukowski, R.W., et al. Technical Reference Guide for the HAZARD I Fire Hazard Assessment Method, Version 1.1., NIST Handbook 146, Volume II, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD(1991).
- [4] Gann, R.G., Averill, J.D., Butler, K., et al. International Study of the Sublethal Effects of Fire Smoke on Survival and Health: Phase I Final Report, Technical Note 1439, National Institute of Standards and Technology(2001).
- [5] Anderson, R.A., Willetts, P., Cheng, K.N., et al. Fire Deaths in the United Kingdom, 1976-82., Fire and Materials, 7(2), pp.67-72(1983).
- [6] Kaufman, S., Refi, J.J., Anderson, R.C.. USA Approach to Combustion Toxicity of Cables., Plastics and Rubber Compounding and Applications 15(3)(1991).
- [7] Purser, D.A.. Proceedings of the First International Fire and Materials Conference, Washington, USA. 24-25 September 1992, p.179-200. ISBN 0 9516320 2 7.
- [8] Purser, D.A.. Toxicity Assessment of Combustion Products, in the "SFPE Handbook of Fire Protection Engineering", P. J. DiNenno, Ed., 2nd ed., National Fire Protection Association, Quincy, MA, Sect.2, pp.85-146(1995).
- [9] Hartzell, G. E.. Combustion Products and Their Effects on Life Safety, in the "Fire Protection Handbook", A. E. Cote, Ed., 18th ed., National Fire Protection Association, Quincy, MA, Sect.4, p.10-21 (1997).
- [10] Kaplan, H. L., Grand, A. F., Switzer, W. G., et al. Effects of Combustion Gases on Escape Performance of the Baboon and the Rat, J. Fire Sciences, 3(4), p.228-244(1985).
- [11] IEC 60695-1-10 Fire hazard testing—Part 1-10: Guidance for assessing the fire hazard of electrotechnical products—General guidelines
- [12] IEC 60695-1-11 Fire hazard testing—Part 1-11: Guidance for assessing the fire hazard of electrotechnical products—Fire hazard assessment
- [13] IEC 60695-7-50 Fire hazard testing—Part 7-50: Toxicity of fire effluent—Estimation of toxic potency—Apparatus and test method
-

中 华 人 民 共 和 国  
国 家 标 准  
电 工 电 子 产 品 着 火 危 险 试 验  
第 18 部 分：燃 烧 流 的 毒 性 总 则  
GB/T 5169.18—2013/IEC 60695-7-1:2010

\*

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.net.cn](http://www.spc.net.cn)

总 编 室：(010)64275323 发 行 中 心：(010)51780235  
读 者 服 务 部：(010)68523946

中 国 标 准 出 版 社 秦 皇 岛 印 刷 厂 印 刷  
各 地 新 华 书 店 经 销

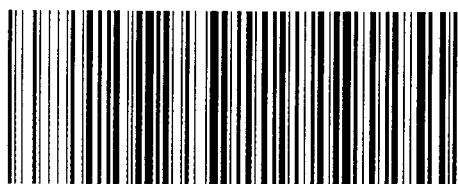
\*

开 本 880×1230 1/16 印 张 1.5 字 数 32 千 字  
2014 年 5 月 第 一 版 2014 年 5 月 第 一 次 印 刷

\*

书 号：155066·1-48996 定 价 24.00 元

如 有 印 装 差 错 由 本 社 发 行 中 心 调 换  
版 权 专 有 侵 权 必 究  
举 报 电 话：(010)68510107



GB/T 5169.18-2013