

中华人民共和国国家标准

GB/T 5169.39—2015/IEC 60695-7-3:2011

电工电子产品着火危险试验 第 39 部分：燃烧流的毒性 试验结果的使用和说明

Fire hazard testing for electric and electronic products—
Part 39: Toxicity of fire effluent—Use and interpretation of test results

(IEC 60695-7-3:2011, Fire hazard testing—
Part 7-3: Toxicity of fire effluent—Use and interpretation of test result, IDT)

2015-10-09 发布

2016-05-01 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 中毒危险评定原理	7
4.1 概述	7
4.2 暴露剂量	8
4.3 浓度-时间数据的测量	8
4.4 窒息物和有效剂量分数(FED)	9
4.5 刺激物和有效浓度分数(FEC)	10
4.6 二氧化碳	11
4.7 氧危害	11
4.8 热应力	11
4.9 火灾气体的分层和扩散作用	11
5 毒性危险评定的方法	11
5.1 一般方法	11
5.2 预测死亡的公式	11
5.3 预测致无能力的公式	13
6 毒效值	13
6.1 常规毒效值	13
6.2 由化学分析得到的毒效值	14
6.3 由动物试验得到的毒效值	14
7 毒性试验结果的局限性说明	14
8 燃烧流组分测量	14
8.1 最少报告内容	14
8.2 附加报告内容	14
附录 A (资料性附录) LC_{50} 值的使用导则	16
附录 B (资料性附录) 中毒危险分析原则的简单说明示例	18
附录 C (资料性附录) 刺激物的 F 值	21
参考文献	22

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 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 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 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 39 部分。

本部分按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本部分使用翻译法等同采用 IEC 60695-7-3:2011《着火危险试验 第 7-3 部分:燃烧流的毒性 试验结果的使用和说明》。

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/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 5169.18—2013 电工电子产品着火危险试验 第 18 部分:燃烧流的毒性 总则 (IEC 60695-7-1:2010, 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)。

本部分做了下列编辑性修改:

——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 39 部分:燃烧流的毒性 试验结果的使用和说明》;

——删除了第 1 章中最后两段资料性内容;

——将第 2 章中国际标准编写指南 IEC Guide 104 及 ISO/IEC Guide 51 移至“参考文献”。

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:东莞出入境检验检疫局检验检疫综合技术中心、深圳出入境检验检疫局、公安部四川消防研究所、广东生益科技股份有限公司、北京泰瑞特检测技术服务有限责任公司、威凯检测技术有限公司、东莞市越铎电子科技有限公司、广东出入境检验检疫局检验检疫技术中心、山东省产品质量检验研究院。

本部分主要起草人:吴倩、郑少锋、毕凯军、程道彬、官健、高岭松、陈立、李广斌、武政、林蓝波。

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 开发的火灾中毒危险标准(如 ISO 13344:2004、ISO 13571:2007、ISO 16312-1、ISO/TR 16312-2、ISO 19701、ISO 19702 和 ISO 19706)描述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 中有描述。

1989 年,ISO/TR 9122-1 描述了以下观点:

“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,该过程决定了全规模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 GB/T 5169.40—2015^[2],而 ISO 也相继制定了 ISO/TS 19700:2007^[3]。两项标准使用的是相同的仪器。这是一个实用的小规模试验仪器,可以用于测定毒效,它的优点是可以模拟火灾中特定的阶段,所获得的毒效数据联同其他合适的的数据,可适用于全规模情况下的危险评估。这两种试验方法用空气流量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案例结合试验着火及燃烧毒性研究的数据表明,在毒性评估中过分强调罕见高毒性未知成分并不必要。当前研究表明,CO 是烟气中最主要的毒性物质,烟气中其他有毒成分还包括 HCN、CO₂ 和刺激性气体。同时,也存在部分重要的、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 13571:2007。烟模糊总则可参见 GB/T 5169.25—2008^[1]。

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以利于逃生。

电工电子产品着火危险试验

第 39 部分:燃烧流的毒性

试验结果的使用和说明

1 范围

GB/T 5169 的本部分涉及用于测量电工电子产品或其材料燃烧流毒性组分的实验室试验,并提供了这些试验结果的使用和说明,讨论了与 ISO/TC 92/SC 3 制定的 ISO 13344:2004、ISO 13571:2007、ISO 16312-1、ISO/TR 16312-2、ISO 19701、ISO 19702 和 ISO 19706 一致的现行可用毒性危险评定方法。本部分还提供了这些毒效数据在着火危险评定中的使用导则,构成着火危险评定中可燃性和毒性资料的指导原则。

本部分描述的试验方法适用于有关燃烧流致无能力效果和致死效果的数据。

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。

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

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

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(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 燃烧流的毒性试验 用 FTIR 气体分析对燃烧流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 19706¹⁾ 火灾对人类威胁的评定指南(Guidelines for assessing the fire threat to people)

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 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 fire hazard of electrotechnical products—Fire hazard

1) ISO 9122-1 燃烧流的毒性试验 第 1 部分:通则,已经撤销,并被 ISO 19706 替代。

assessment)

IEC 60695-7-1 着火危险试验 第 7-1 部分:燃烧流的毒性 总则(Fire hazard testing—Part 7-1: Toxicity of fire effluent—General guidelines)

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)

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,将其中的部分复制于下文。

3.1

窒息物质 **asphyxiant**

引起组织缺氧而导致中枢神经系统衰弱或心脏血管系统受影响的有毒物质。

注:能导致丧失意识和最终死亡。

[ISO/IEC 13943:2008,定义 4.17]

3.2

燃烧(不及物动词) **burn(vi)**

经受燃烧。

[ISO/IEC 13943:2008,定义 4.28]

3.3

燃烧(及物动词) **burn(vt)**

引起燃烧。

[ISO/IEC 13943:2008,定义 4.29]

3.4

可燃的(形容词) **combustible(adj)**

能够起燃和燃烧的。

[ISO/IEC 13943:2008,定义 4.43]

3.5

可燃物(名词) **combustible(noun)**

能够燃烧的物品。

[ISO/IEC 13943:2008,定义 4.44]

3.6

燃烧 **combustion**

物质与氧化剂的放热反应。

注:燃烧通常会产生燃烧流,并伴有火焰和/或灼热。

[ISO/IEC 13943:2008,定义 4.46]

3.7

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 $P=1.013 25 \times 10^5 \text{ Pa}$ 时的体积分数,其代表性单位为微升每升($\mu\text{L} \cdot \text{L}^{-1}$),相当于 cm^3/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(假设为理想气体状态)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]

3.8

半有效浓度 effective concentration 50

EC_{50}

在指定的暴露时间和暴露后时间内,以浓度效应数据为统计依据,计算出的引起给定生物 50%达到指定效果的毒性气体或燃烧流浓度。

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

注 2: 对于毒性气体,其代表性单位为微升每升 ($\mu L \cdot L^{-1}$) (在 $T=298 K, P=1.013 25 \times 10^5 Pa$ 时); 见体积分数。

注 3: 所观察的效果通常为行为响应、无能力或死亡。致无能力的 EC_{50} 定义为 IC_{50} 。致死的 EC_{50} 定义为 LC_{50} 。

[ISO/IEC 13943:2008,定义 4.72]

3.9

半有效暴露剂量 effective exposure dose 50

ECt_{50}

半有效浓度与测定期间暴露时间的乘积。

注 1: 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 2: 对于毒性气体,其代表性的单位为微升分每升 ($\mu L \cdot min \cdot L^{-1}$) (在 $T=298 K, P=1.013 25 \times 10^5 Pa$ 时); 见体积分数。

注 3: ECt_{50} 是对毒效的测量。

[ISO/IEC 13943:2008,定义 4.73]

3.10

当量比 equivalence ratio

实际燃料/空气比例除以化学当量混合气所要的燃料/空气比例。

注 1: 标准状态下,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]

3.11

暴露剂量 exposure dose

可吸入毒性气体或燃烧流的最大量的测量值,通过浓度-时间曲线下的面积积分得出。

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

注 2: 对于毒性气体,其代表性的单位为微升分每升 ($\mu L \cdot min \cdot L^{-1}$) (在 $T=298 K, P=1.013 25 \times 10^5 Pa$ 时); 见体积分数。

[ISO/IEC 13943:2008,定义 4.89]

3.12

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(3.13)和火灾(3.14)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]

3.13

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]

3.14

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]

3.15

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]

3.16

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]

3.17

着火模型 fire model

着火模拟 fire simulation

描述火势发展系统或过程的计算方法,包括着火动力学和着火影响。

[ISO/IEC 13943:2008,定义 4.116]

3.18

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:其代表性地界定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]

3.19

火焰蔓延 flame spread

火焰前沿的传播。

[ISO/IEC 13943:2008,定义 4.142]

3.20

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]

3.21

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、致死性或其他最终影响。

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

注3:有效浓度分数是无量纲的。

[ISO/IEC 13943:2008,定义 4.159]

3.22

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、致死性或其他最终影响。

注 2: 如果不是用于某种特定的窒息物质时,术语 FED 代表燃烧环境中所有窒息物质的 FED 总和。

注 3: 有效剂量分数是无量纲的。

[ISO/IEC 13943:2008,定义 4.160]

3.23

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]

3.24

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]

3.25

起燃 ignition

持久的起燃(不推荐)

〈通常〉燃烧的开始。

[ISO/IEC 13943:2008,定义 4.187]

3.26

无能力 incapacitation

身体不能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]

3.27

刺激物 irritant(n)

〈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]

3.28

半致死浓度 lethal concentration 50

LC_{50}

在指定的暴露时间和暴露后时间内,以浓度效应数据为统计依据,计算出的引起给定生物 50% 死亡的毒性气体或燃烧流浓度。

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

注 2: 对于毒性气体,在 $T=298\text{ K}$ 、 $P=1.013\ 25 \times 10^5\text{ Pa}$ 时,其代表性的单位为微升每升($\mu\text{L} \cdot \text{L}^{-1}$);见体积分数。

[ISO/IEC 13943:2008,定义 4.207]

3.29

半致死暴露剂量 lethal exposure dose 50

LCt_{50}

半致死浓度与测定期间暴露时间的乘积。

注 1: LCt_{50} 为致死毒效的量。

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

注 3: 对于毒性气体,在 $T=298\text{ K}$ 、 $P=1.013\ 25 \times 10^5\text{ Pa}$ 时,其代表性的单位为微升分每升($\mu\text{L} \cdot \text{min} \cdot \text{L}^{-1}$);见体积分数。

[ISO/IEC 13943:2008,定义 4.208]

3.30

质量损失浓度 mass loss concentration

〈密封环境下〉燃烧时试样被消耗的质量除以试验箱的体积。

注：其代表性的单位为克每立方米($\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$)。

[ISO/IEC 13943:2008,定义 4.222]

3.31

质量损失浓度 mass loss concentration

〈敞开环境下〉燃烧时试样被消耗的质量除以通过试验装置的气体的总体积。

注 1：该定义假定了质量是随时间在气流中稳定地被消耗。

注 2：其代表性的单位为克每立方米($\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$)。

[ISO/IEC 13943:2008,定义 4.223]

3.32

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]

3.33

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]

3.34

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]

3.35

烟 smoke

燃烧流的可见部分。

[ISO/IEC 13943:2008,定义 4.293]

3.36

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]

3.37

有毒气体 toxic gas

有毒的蒸气。

注：在燃烧流环境下,该术语通常适用于单独的化学元素或化合物。

[ISO/IEC 13943:2008,定义 4.336]

3.38

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]

3.39

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]

3.40

有毒物质 toxicant**毒素 toxin**

能引起中毒的物质。

[ISO/IEC 13943:2008, 定义 4.340]

3.41

毒性 toxicity

能引起中毒的特性。

[ISO/IEC 13943:2008, 定义 4.341]

3.42

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，某种气体单独占的体积，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 $1.013\ 25 \times 10^5$ Pa。

注 3：体积分数是无量纲的，通常用微升每升 ($\mu\text{L} \cdot \text{L}^{-1}$) 表达，相当于 cm^3/m^3 或 10^{-6} 或百分比。

[ISO/IEC 13943:2008, 定义 4.351]

3.43

产率 yield

燃烧期间生成的燃烧产物的质量除以试样的质量损失。

注：产率是无量纲的。

[ISO/IEC 13943:2008, 定义 4.354]

4 中毒危险评定原理**4.1 概述**

着火危险评定是对由火灾引起人体危害或财产损失程度的预测。毒性危险评定是着火危险评定中测量暴露于燃烧流中的吸入影响的分支。电工电子产品着火危险的总则在 IEC 60695-1-10 中有给出，对着火危险评定技术背景的综述在 IEC 60695-1-11 中有给出。ISO 13571:2007 则给出了室内人员经过密闭房间时，暴露于威胁生命的火灾组分中的后果，包括燃烧流毒性对其的影响。

毒性危险评定旨在量化暴露于燃烧流有毒产物中的潜在性有害结果。近年来的研究侧重对致死暴露时间的计算。然而，目前重心正在转至对致无能力暴露时间和使受害者不能从火灾中逃生的暴露时

间的计算。

部分有毒物质是窒息物,如一氧化碳和氰化氢;部分则是刺激物,如丙烯醛、氯化氢和二氧化硫。处理这两类有毒物质的方式不同。窒息物的效果取决于累积剂量,即暴露剂量;而刺激物的效果则取决于是否达到极限浓度。

4.2 暴露剂量

对于大多数窒息物组分,通常毒性效果的严重性与浓度、暴露时间大致成比例。这就是 Haber 规则。因此,如果窒息物浓度翻倍,暴露时间减半,对于所暴露的生物毒性效果通常一致^[4]。对于部分燃烧流组分,毒性反应可能更复杂。ISO 13344:2004 和 ISO 13571:2007 中有更多可参考资料。

该现象使用暴露剂量参数与燃烧流中的吸入性毒性物质总量有关,通过浓度 C 对时间 t 的积分得到[见图 1 和式(1)]。

$$\text{暴露剂量} = \int C \times dt \quad \dots\dots\dots(1)$$

如果浓度恒定,暴露剂量为浓度和暴露时间的乘积 Ct ,但由于着火过程中有毒物质的浓度是随时间变化的,所以这类情况并不常见。

注:尽管暴露剂量通常用积分计算得到,但毒理学家有时也用 Ct 表示。

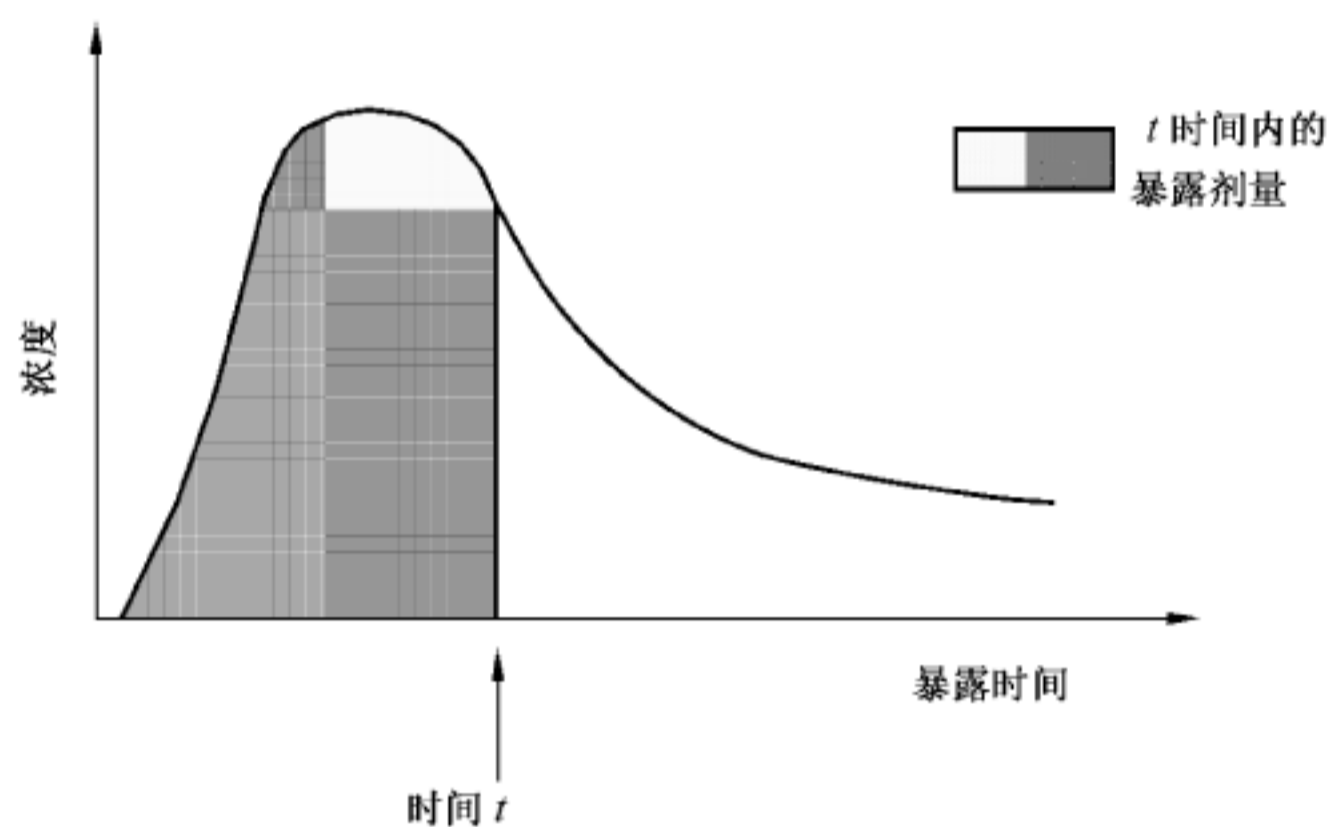


图 1 随时间和浓度变化的暴露剂量

暴露剂量的单位为浓度乘时间,通常表示为克分每立方米($g \cdot \text{min} \cdot \text{m}^{-3}$)。有时用体积分数(见 3.42)代替浓度,则暴露剂量的单位为 $10^{-6} \times \text{min}$ 。

注:用体积分数时,需假设气体混合物是在温度 25 °C 和大气压 0.1 MPa 的环境下。有毒物质的浓度可通过体积分数乘以纯有毒物质在温度 25 °C 和大气压 0.1 MPa 环境下的密度算得。

燃烧流中每种有毒物质都有其浓度-时间曲线,在许多研究中,有显著毒性的物质应单独考虑,然后将其效应相加。该方法是“毒性气体模型”。

可考虑用给定材料或有单一毒性产物产品(如果其毒效已知或能设定)的燃烧流替代。这种情况下,暴露剂量就是暴露时间和质量损失浓度的乘积。不同材料或产品应单独进行考虑,然后将其效应相加。该方法是“质量损失模型”。

4.3 浓度-时间数据的测量

有两种方式测量浓度-时间数据:

- a) 在全规模模拟火情中,直接测得;或
- b) 在着火模型中,用燃料的质量损失率算得。

计算方法有两种形式。简单地涉及一个或两个燃烧物体时,通常人工计算即可。附录 B 给出了相

关示例。其他情况的计算通常使用计算机数学模型。目前,这些着火模型主要研究简单火情,不仅需要输入火情特征,还需输入所有可燃物(包括电工电子产品)暴露于火中基于时间的质量损失率。

给定产品的净质量损失在达到预先测得的起燃条件(辐射通量或温度)时开始。质量损失率与暴露于火中的表面积和表面接收的总热量成正比。每种产品的比例常数在已知辐射通量的单位暴露面积质量损失率实验室试验中测得。质量损失在所测燃料全部耗尽时终止。

将质量损失率和火情的具体信息作为输入量,计算机编程需要考虑结构、通风情况和受害者位置的影响,计算所选位置燃烧流的温度和随时间变化的浓度。着火危险各种现象随时间的变化示例在图 2 中有给出。

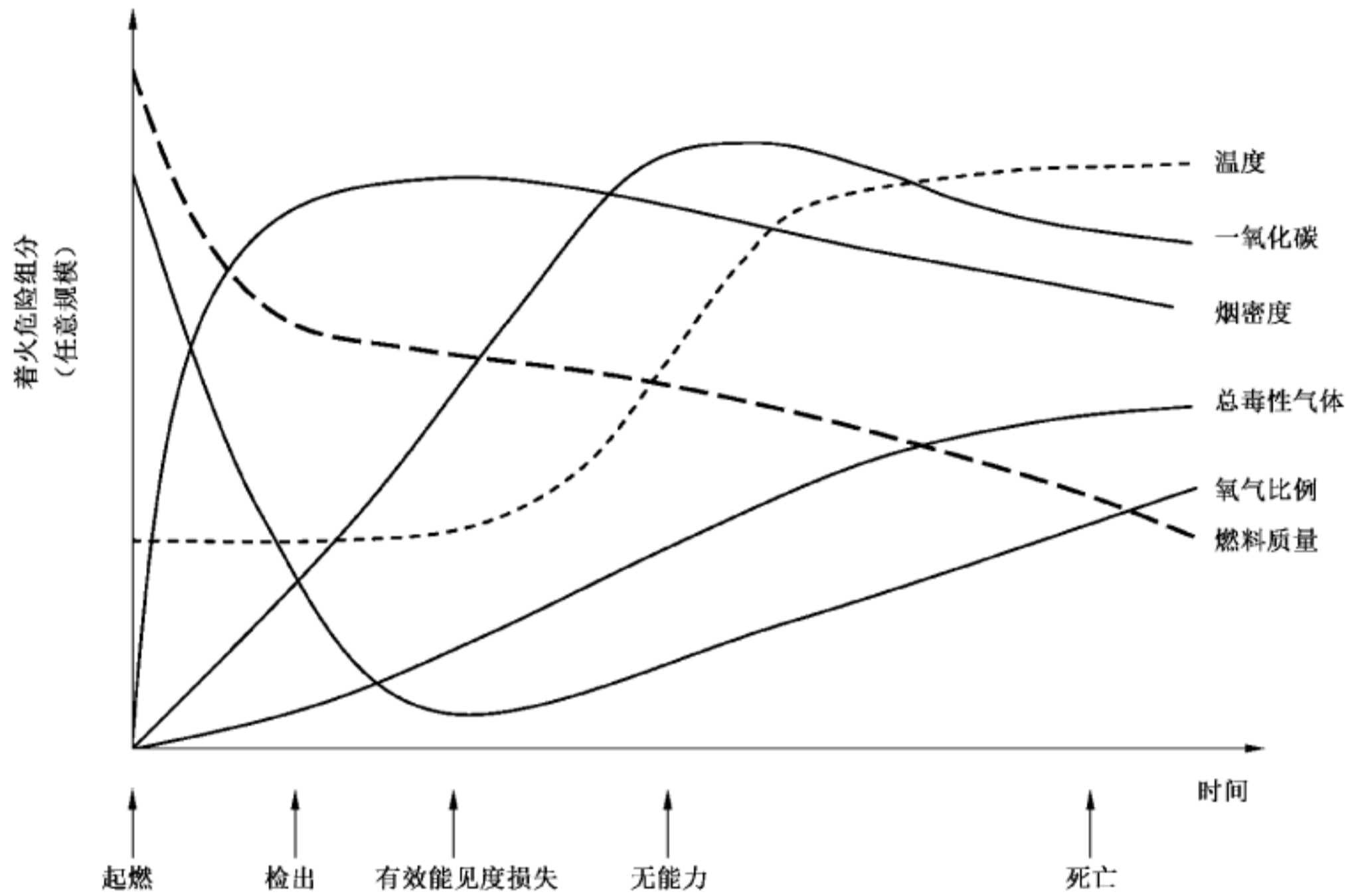


图 2 着火危险组分随时间的变化

4.4 窒息物和有效剂量分数(FED)

4.4.1 概述

窒息物毒效以产生可观察的毒性效果的暴露剂量大小表示。对所暴露的 50% 受试动物产生确定效果的有毒物质暴露剂量称为半有效暴露剂量 ECt_{50} 。 ECt_{50} 值越低,毒性越强。同样的原理适用于单一成分气体、气体混合物,以及化学组分不明确的燃烧流。

毒性危险评估包括了对暴露剂量(通常是时间的函数)的计算,并除以半有效暴露剂量。该比值为有效剂量分数,或 FED^[5] 见式(2)。

$$FED = \frac{\text{暴露剂量}}{\text{半有效暴露剂量}} = \frac{\int C \times dt}{ECt_{50}} \dots\dots\dots (2)$$

分子(暴露剂量)由产品的燃烧性能和火情决定。分母(半有效暴露剂量, ECt_{50})是唯一出现毒效的地方。毒效数据在第 6 章中有进一步的讨论。当受害者所在之处的暴露剂量等于半有效暴露剂量时(即,当 $FED=1$ 时),则认为产生了致无能力或致死效果。

如上所述,暴露剂量和 FED 值不同但又密切相关。前者将燃烧流视为有毒组分的混合物,称为“毒性气体模型”。后者则将燃烧流视为各种燃烧着的产品或材料产生的组分,称为“质量损失模型”。

4.4.2 FED 的性能

FED 是一个随时间变化的量。其决定性因素有：

- 火灾的类型和规模；
- 暴露于燃烧流的时间和暴露的相对位置；
- 容纳燃烧流的隔间容积；以及
- 燃烧流的毒效。

对于给定的火情，总 FED 是燃烧流所有组分毒性作用的总和。每种燃烧流组分的作用 f_i ，依次由式(3)得出：

$$f_i = \frac{\left[\int C \times dt \right]_i}{[ECt_{50}]_i} = \frac{\text{燃烧流组分 } i \text{ 的暴露剂量}}{\text{燃烧流组分 } i \text{ 的有效剂量}} \dots\dots\dots(3)$$

总 FED = $f_1 + f_2 + f_3 + \dots\dots$ (见图 3)。

不管是毒性气体模型中单独的气体作用，还是质量损失模型中不同燃烧物品的作用，式(3)均适用。

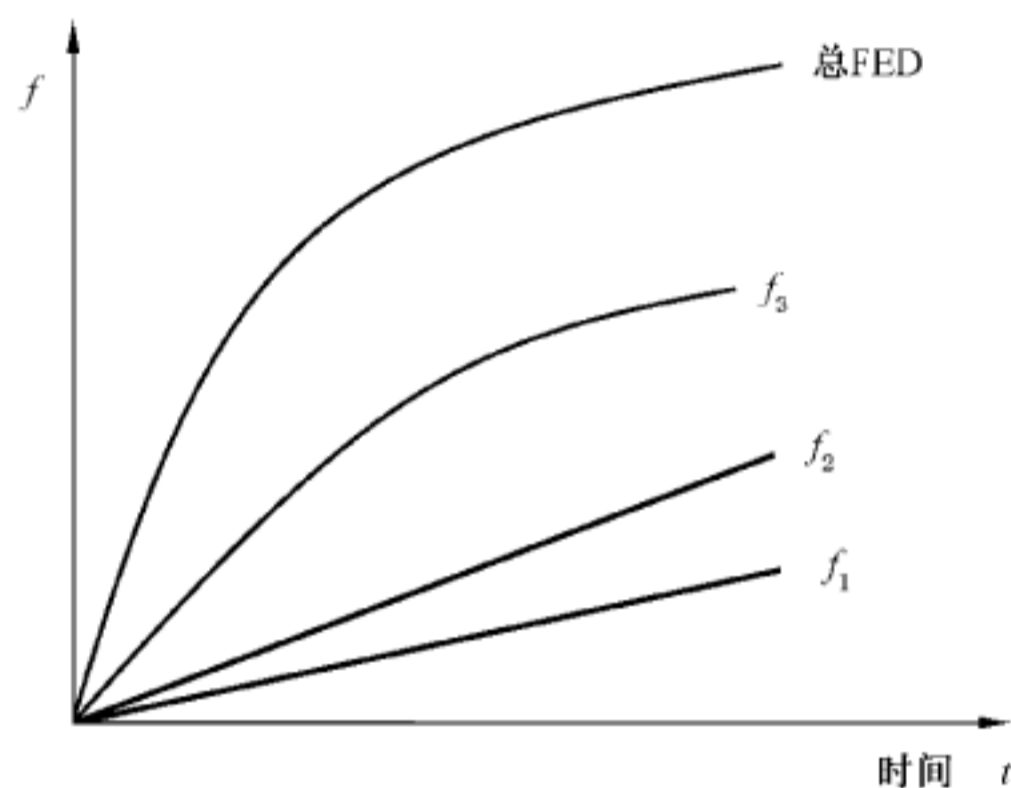


图 3 随时间变化的总 FED 和作用

4.4.3 FED 的使用

使用 FED 还需确定下列因素：

- 气体变得让人无法忍受的时间(要求 FED 不能超过为工作、逃生或救援连贯提供稳定状态的预期值)；
- 对材料或产品进行对比；
- 与标准的对比，如参考标准材料或参考火情。

4.5 刺激物和有效浓度分数(FEC)

感官/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。当考虑致无能力时，其作用效果仅与浓度有关。眼睛和上呼吸道会随时间由轻微不适变为剧痛。

评估毒性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。每种刺激物的有效浓度分数(FECs)在离散递增时间点测定见式(4)。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。

$$FEC = \sum \left[\frac{\text{刺激性气体浓度}}{\text{临界浓度}} \right]_i = \sum \frac{[C]_i}{F_i} \dots\dots\dots(4)$$

式中:

$[C]_i$ ——刺激性气体 i 的浓度(或体积分数);

F_i ——刺激性气体 i 的临界浓度(或临界体积分数)。

刺激性气体的体积分数被认为会严重影响人员采取有效行为完成逃生(F 值)的能力,部分重要刺激物的 F 值见附录 C。

注:刺激性有毒物也有致死性,这种情况可能与暴露剂量有关,见 5.2。

4.6 二氧化碳

低浓度的二氧化碳没有毒性,但会因引起换气过度导致其他毒性燃烧流的作用增强。部分计算 FED 值的公式考虑了该效应,见 ISO 13344:2004 和 ISO 13571:2007。

4.7 氧危害

低氧量是有害的,部分计算 FED 值的公式考虑了该效应,见 ISO 13344:2004 和参考文献^[6]。

4.8 热应力

热应力会致无能力,也会致死。热应力还可能增加毒性作用^{[7][8]},对 FED 的计算也应增加热应力项目,见 ISO 13571:2007。

4.9 火灾气体的分层和扩散作用

燃烧流的浓度通常由烧掉的燃料质量相对燃烧流扩散空间的容积算得。很多细化模型会对具体实际环境下燃烧流浓度的分层和扩散作用进行考虑。

5 毒性危险评定的方法

5.1 一般方法

毒性危险评定的目标是计算与电工电子产品着火相关的 FED 和/或 FEC 值。首先描述电工电子产品及其如何使用,然后描述着火发生的具体环境。这就构成了“火情”。描述火情包括辨别空间结构的密闭性、如何开始着火及产品如何被卷入火中、其他人暴露的位置及其受到的影响。

最终效果通常被认为是致死,或使人无能力从火中逃生。

对给定的电工电子产品,可能不止存在一种火情,而显著的毒性危险与每种火情都有关系。认定的每种火情,都要计算其 FED 和/或 FEC 值。

5.2 预测死亡的公式

5.2.1 简单的有毒气体模型

不同燃烧流组分的毒性效果相加,那么 FED 即是所有组分作用的总和见式(5)。

$$FED_{\text{总}} = \sum_{i=1}^n \frac{[\int C \times dt]_i}{[LCt_{50}]_i} \dots\dots\dots (5)$$

式中:

$[\int C \times dt]_i$ ——燃烧流组分 i 的暴露剂量;

$[LCt_{50}]_i$ ——燃烧流组分 i 的半致死暴露剂量。

对于单一的有毒物质,当 FED 等于 1 时,预计会产生致死效果。

5.2.2 N 气模型

FED 原理的使用被美国国家标准与技术研究院(NIST)定义为“N 气模型”^[9]。该模型下 FED_总 的计算方法见式(6)。

基于 NIST 的研究显示,一氧化碳毒性效果需考虑二氧化碳的作用。当然,也应考虑氧危害。

$$FED_{总} = \sum_{i=1}^n \frac{[\int C \times dt]_i}{[LCt_{50}]_i} + \frac{m\phi_{CO}}{\phi_{CO_2} - b} + \frac{0.21 - \phi_{O_2}}{0.156} \dots\dots\dots(6)$$

式中:

ϕ_{CO} ——一氧化碳的体积分数;

ϕ_{CO_2} ——二氧化碳的体积分数;

m 和 b ——分别为一氧化碳和二氧化碳正交曲线的斜率和截距,表明一氧化碳毒性随二氧化碳浓度增加而增强;

ϕ_{O_2} ——氧气的体积分数。

二氧化碳的体积分数小于 5% 时, $m = -18, b = 0.122$ 。

二氧化碳的体积分数大于 5% 时, $m = 23, b = -0.039$ 。

5.2.3 二氧化碳的换气过度效果

当 CO₂ 体积分数超过 0.02 时,考虑到换气过度引起的窒息物吸收增加,FED 值应乘以一个频率因子 ν_{CO_2} 。 ν_{CO_2} 的计算见式(7)。

$$\nu_{CO_2} = \exp(X_{CO_2}/0.05) \dots\dots\dots(7)$$

式中:

X_{CO_2} ——二氧化碳的体积分数(见 ISO 13571:2007)。

5.2.4 致死毒效值

式(5)、式(6)和式(8)所用 LCt_{50} 值在表 1 中有给出。

表 1 部分物质的毒效值
(源自 ISO 13344:2004)

有毒物质	LC_{50} 值 $\times 10^6$ (暴露 30 min, 体积分数值)	LCt_{50} 值 $\times 10^6$ min
一氧化碳(CO)	5 700	171 000
丙烯醛(CH ₂ =CHCHO)	150	4 500
甲醛(HCHO)	750	22 500
氰化氢(HCN)	165	4 950
氧化氮(NO _x)	170	5 100
氯化氢(HCl)	3 800	114 000
氟化氢(HF)	2 900	87 000
溴化氢(HBr)	3 800	114 000
二氧化硫(SO ₂)	1 400	42 000

5.2.5 质量损失模型

在质量损失模型中,着火危险评定以各燃烧产品或材料起作用的质量为基础。用质量损失浓度取代暴露剂量中的燃烧流浓度,见 4.2。

$$FED_{\text{总}} = \sum_{j=1}^k \frac{[\int C \times dt]_j}{[LCt_{50}]_j} \dots\dots\dots (8)$$

该总和包含了总燃烧流的每种燃烧材料或产品 k 。 $[LCt_{50}]_j$ 为由实验室燃烧流毒性试验测得的第 j 种产品的燃烧流半致死暴露剂量。

处理电工电子产品,或当电工电子产品对总危害仅有非常小的作用时,通常采用质量损失模型,着火危险评定的目的是将一个电工电子产品与另一个产品进行对比。

5.3 预测致无能力的公式

5.3.1 窒息性气体模型

评估毒性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。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 ECt_{50} 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。FED 可以通过一个指数表达式[见式(9)]计算得到:

$$FED = \sum_{t_1}^{t_2} \frac{\{\exp(\phi_{\text{HCN}}/4.3 \times 10^{-5})\} - 1}{220 \text{ min}} \times \Delta t \dots\dots\dots (9)$$

式中:

ϕ_{HCN} ——在时间增量 Δt 中 HCN 体积分数的平均值。

注:该公式在 ϕ_{HCN} 值为 $30 \times 10^{-6} \sim 400 \times 10^{-6}$ 时适用。

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 $\exp(\phi_{\text{CO}_2}/0.05)$ 中的 ϕ_{CO_2} 等于二氧化碳的体积分数(见 ISO 13571:2007)。

5.3.2 刺激性气体模型

每种刺激物的有效浓度分数(FECs)在离散递增时间点测定。累积总量超过指定临界值的时间代表可用于逃生的时间,可选作安全指标,见 4.5 和附录 C。

5.3.3 质量损失模型

很多情况下,燃烧流有毒物质随时间变化的浓度不易测得。FED 的基本概念仍需使用质量损失、燃烧流扩散的空间容积和已知的致死毒效值。建议使用 $1/2 LCt_{50}$ 值作为致无能力的近似暴露剂量^[11]。尽管试验数据源自老鼠暴露试验,但其相关性也适用于人类的暴露,见 ISO 13571:2007。

6 毒效值

6.1 常规毒效值

通常,采用平均或常规毒效值作为危险评定的初级近似值,因为大多数材料燃烧流的毒效值在数量级上是一致的。

建议在通风良好的环境下,发生轰燃前的 LCt_{50} 值采用 $900 \text{ g} \cdot \text{min} \cdot \text{m}^{-3}$, 轰燃后采用 $450 \text{ g} \cdot \text{min} \cdot \text{m}^{-3}$ 。在评估人员逃生时,ISO 13571:2007 则建议采用 $450 \text{ g} \cdot \text{min} \cdot \text{m}^{-3}$ 和 $220 \text{ g} \cdot \text{min} \cdot \text{m}^{-3}$ 。所用毒效值与 1/2 或 1/3 常规值不一致时,可以通过重新计算着火危险评定结果,核对该规则的有效性。如果潜在逃生时间显著不同,可能有利于得到所讨论的电工电子产品和材料的特定毒效数据。

6.2 由化学分析得到的毒效值

大部分火灾气体的致死有效剂量由前期生物试验和已发布的可用资料中得到。部分值在表 1 中有给出(见 5.2.4)。这些数据对基于燃烧流危险评定的化学分析有支撑作用。由于单一火灾气体和某种多组分燃烧流的毒性效果知识的累积,该方法得到越来越广泛的应用。由于所有源自火灾的常见单一气体实际毒效均已由动物试验测得,所以该方法也避免了对动物的例行使用。足够的数据分析得出,可将毒效作为给定着火阶段的单值。

6.3 由动物试验得到的毒效值

所有毒效值基本都是基于已知毒性气体或燃烧流浓度的动物(大鼠或小鼠)暴露试验,观察动物行为随时间的变化得出。典型产品或材料在燃烧时会产生复杂的有毒混合物。这些燃烧产物间会产生化学作用,一旦被生物吸入,就会产生生物作用。燃烧材料与暴露在燃烧流中的动物间的相互作用,大部分不能采用化学分析进行预估。

7 毒性试验结果的局限性说明

毒效试验的结果不宜单独用于确定着火危险和消防安全,也不能直接用其对材料或电工电子产品进行分级。毒效的范围不宜作为材料和产品说明规范的一部分。只有将所有相关的着火试验和火情数据结合适当的定量危险评定架构,才能得出结论或安全决策。

过去,通常研究毒性试验作为识别材料的方法,这些材料在遇热分解时,其燃烧流会具有罕见高毒效的特征。然而,至 2011 年,没有极端毒效危险结果的火灾实例记录。

是否存在氮、卤素或磷这些特定的化学元素,不能单独用于表征致死毒性危险水平。因此,燃烧流中是否存在特殊有毒化学物也不能作结论。火灾及其燃烧流造成的显著威胁,需要对危险进行评定,并对所有威胁因素(如:热、烟、有毒物质和氧耗尽)的时间积分进行定量分析。

8 燃烧流组分测量

8.1 最少报告内容

当有机材料发生燃烧时,氧的消耗和碳氧化合物的生成通常是燃烧流中最重要的有毒物组分。二氧化碳、一氧化碳和氧浓度均需进行报告。

8.2 附加报告内容

8.2.1 气态燃烧流的组分

如果存在已知的或疑似的其他气态燃烧流组分,则需要对其进行测量。

燃料中已知或疑似存在的其他元素需进行额外的分析。表 2 列举了燃料中的其他元素会产生的最显著的气态燃烧流组分。所有的这些,除水蒸气外,都会增加燃烧流的毒害作用。

很多其他的气态燃烧流组分也可能产生,尤其是在燃烧流未被完全氧化时。如果燃烧流的组分已知,燃烧流的有机馏分可通过产品的碳守恒原理估算得到。傅里叶变换红外及气相色谱/质谱技术可给

出气态燃烧流组分的详细信息。

注：电气绝缘油(见 IEC 60695-1-40)会产生下述毒性物质：

- 丙烯醛和甲醛；
- 二恶英和呋喃(对于受到多氯联苯污染的油)；
- 多环芳烃(对于矿物油)。

这些毒性产物不局限于来自电气绝缘油。

表 2 燃烧产物

燃料所含元素	主要的燃烧流组分
碳、氢、氧	水(H ₂ O)、二氧化碳(CO ₂)、一氧化碳(CO)、 丙烯醛(CH ₂ =CHCHO)、甲醛(HCHO)
氮	氰化氢(HCN)、氮氧化物(NO _x)
氯	氯化氢(HCl)
氟	氟化氢(HF)
溴	溴化氢(HBr)
硫	二氧化硫(SO ₂)

8.2.2 空中悬浮颗粒

空气中的颗粒物会对燃烧流的所有有毒物质起促进作用。因此,测量燃烧流中的总颗粒物含量(mg/L)是有用的。颗粒物的粒子尺寸分布也是有用信息。

附 录 A
(资料性附录)
 LC_{50} 值的使用导则

A.1 概要

源自燃烧或热解产品的燃烧流通常具有其浓度在指定暴露期间很可能对人造成危害的特征。一个人在火灾中,可能遭受一定范围的负面影响。最严重的情况是死亡。其次的症状包括,如:昏迷或眼睛受到刺激,可能影响幸存者,也可能产生持续效果。

大部分火灾中毒危害研究集中在直接致死的影响。有毒物质的致死毒效以 LC_{50} 表示。这是维持指定暴露时间(通常为 30 min)引起半数暴露生物死亡的有毒物质的浓度。火灾时,人暴露于浓度变化的燃烧流中,因此他们的暴露通过浓度对时间的积分算得。

A.2 最低限度的危害

火灾中的生命受到威胁的方式有几种。包括最常见的燃烧流的吸入、烧伤,以及因低能见度造成从楼梯上的跌落。这类威胁被认为是基本的最低限度危害。识别其是不是燃烧流的毒性危害的极限,是中毒危险分析的第一步。

A.3 在特定类型火灾中的 LC_{50} 值的使用

A.3.1 阴燃

目前没有可用于测量自持无焰燃烧的燃烧流毒效设备。可以认为这种燃烧方式与热解或辐射分解类似,但现阶段还无法确定其 LC_{50} 值是否一致。

具有缓慢质量燃烧率的火灾,其产生的燃烧流或热较少。如果燃烧流在整个房间内混合,那么其浓度就较低,除非 LC_{50} 值很低,这样浓度的燃烧流对生命安全的威胁也较低。在电工电子领域,很多着火起源于部件的短路,而人很少接近其阴燃源。只有燃烧流扩散在小容积的空间中时,人所接受到的剂量才会表现为有害剂量。

A.3.2 有焰、轰燃前的着火

对于卷入小规模有焰着火的产品,其 LC_{50} 值是可测量的。这些值大部分落在一个较窄的区间内,然而也有一些可燃物的 LC_{50} 值非常高(毒性低)或非常低(毒性高)。测量仪器和着火环境中,均有充足的氧供应。

当使用 FED 时,毒性燃烧流组分由化学分析法测量。

几乎所有常用燃料的产热与其耗氧速率一致,且氧耗通常用着火期间的热释放速率测量。当一个产品燃烧时,热浮动力会将热燃烧流推至空间的上层。那些在燃烧点附近和暴露于上层的人同时受到两种生命安全威胁:高温和毒性燃烧流。测量有哪些最低限度危害是非常重要的。分析显示,很多情况下,烧伤或热在燃烧流毒性达到 LC_{50} 常规值前对生命有很大威胁^[12]。因此,对 LC_{50} 的精确测量对于这类火灾的危险分析不是非常重要。而知道燃烧流的毒效不是极端值才是最重要的。在其他暴露情况下,火灾的热通过燃烧流穿过建筑物在未接触人时被消耗。这种情况下,燃烧流的毒性可能是威胁生命

的因素。

A.3.3 有焰、轰燃后的着火

A.3.3.1 概述

当隔室的火变得足够大时,其耗氧速率比通过门窗补给氧气的速度更快。这种通风不足的结果是导致严重不完全燃烧及燃烧流的毒性更强。

A.3.3.2 一氧化碳增加

通常,对隔室内的人员来说,温度和热辐射迅速变得很高。由此,在评估火灾对人的威胁时,更应关注相邻防火分区或离火源较远的人员。由于热作用,毒性燃烧流离开了房间,并由于外部空气及对流传导引起的热损失使其得到稀释。最低限度的危害取决于这些过程的竞争力,并依赖于建筑物。

对于卷入大规模有焰着火的产品,其 LC_{50} 值是可测量的,这些值大部分落在一个较窄的区间内。然而,这些测量方法要求包括对轰燃隔室氧耗竭效果的测定。这种耗竭导致不完全燃烧产物产率的增加,尤其在几乎所有的火灾中,一氧化碳对 FED 至少起到一半的作用。因此,精确测量 LC_{50} 值是非常重要的。开放的(流动)系统能通过调节流量条件预测一氧化碳的产率。密闭的系统可以通过匹配真实规模着火结果来测得一氧化碳的产率。

A.3.3.3 LC_{50} 值的简化

由于轰燃后的着火环境中一氧化碳产率增加,因此可对 LC_{50} 测量简化。实验室的测量显示,二氧化碳会增强一氧化碳的毒性,促进一氧化碳作用的二氧化碳 LC_{50} 值约为 $5 \text{ g} \cdot \text{m}^{-3}$ 。一系列室内轰燃后的着火试验显示,尽管会有部分变化,但一氧化碳的典型产率相对燃料基本约为 $0.2 \text{ g} \cdot \text{g}^{-1}$ 。该值变高,是由于着火隔室的通风不良。结合这两个值,轰燃后燃烧流的 LC_{50} 值被认为是 $25 \text{ g} \cdot \text{m}^{-3}$ ^[13]。这仅基于预期的一氧化碳和二氧化碳含量。也不可能会有更高的值。其他有毒物质的存在或甚至较高的一氧化碳的产率仅会削弱该值。

其次,应适当考虑小规模测量方法精确度,即:实验室试验重现真实火灾现象的程度。测量 LC_{50} 的小规模验证性研究显示其结果可以用于预测真实规模毒效的 $1/3$ ^[14]。因此,轰燃后燃烧流的 LC_{50} 值介于 $8 \text{ g} \cdot \text{m}^{-3}$ ($25 \div 3$) \sim $75 \text{ g} \cdot \text{m}^{-3}$ (25×3) 之间不易区分。由于所有轰燃后的燃烧流 LC_{50} 值不超过 $25 \text{ g} \cdot \text{m}^{-3}$,所有轰燃后的燃烧流的 LC_{50} 值大于 $8 \text{ g} \cdot \text{m}^{-3}$,且用该方法测得的值与其他均不易区分。其他试验台规模的装置的精度一旦确定,计算类型也对其适用。

大多数常用电工电子产品的 LC_{50} 值均比该值高。因此,对于这类可燃物,在对轰燃后的危险进行分析时,应谨慎使用常规值 $8 \text{ g} \cdot \text{m}^{-3}$ 。

当着火的物品有足够多使用该方法测量 LC_{50} 值的案例时,部分产物在以后的测量中可通过观察免于测量,且被描述为“ LC_{50} 值大于 $8 \text{ g} \cdot \text{m}^{-3}$ ”。可能的情况有:

- 木材和其他纤维素酯类塑料,因其所有种类预计的 LC_{50} 值均与现存的花旗松的值相近;
- 仅含有 C、H 和 O 的合成材料;
- 显示符合 N 气模型(见 5.2.2)的聚合物/添加剂混合物,即它们不会产生其他的有毒物质,且 LC_{50} 值大于 $8 \text{ g} \cdot \text{m}^{-3}$;
- 出现的少量产物;
- 不会变为轰燃着火燃料的产物,如那些只安装在充分防护设施后边的物品。

根据研究毒效值的综述报告,极少电工电子产品需要测量其毒效值。确实,当一个产品对轰燃后火情的燃烧流起作用时,由于存在许多其他产品和材料也在燃烧,所以,该产品的燃烧流即使毒性非常高,也可能对总毒性的作用非常小。注意,这仅适用于轰燃后的火情。

附录 B

(资料性附录)

中毒风险分析原则的简单说明示例

注：该示例未提及电工电子产品，但基本原则对电工电子产品有效。

B.1 问题环境

考虑更换房间的地板覆盖材料。目的在于如果材料由小的引燃源引燃，新材料(材料 B)的中毒危险发展率不应比旧材料(材料 A)的高。大多数火情是烟雾迅速装满密闭房间，且燃烧流均匀地混合在房间内(即：分层的效果被认为非常短暂可以忽略)。该例子中，材料 B 的燃烧流毒性是材料 A 的两倍，但起燃后，其燃烧速度却更慢。

B.2 可用信息

房间的容积是 40 m^3 。地板覆盖材料的表面密度为 $4 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$ 。水平燃烧试验显示两种材料均会很快烧穿，以致火焰蔓延的前沿由起燃点开始扩散。两种材料燃烧时的质量损失为 $3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$ 。对于材料 A，火焰蔓延的速率为 $10 \text{ cm} \cdot \text{min}^{-1}$ ；对于材料 B，火焰蔓延的速率仅为 $5 \text{ cm} \cdot \text{min}^{-1}$ 。然而，小规模着火试验显示，在通风良好的燃烧条件下，材料 B 的燃烧流毒性是材料 A 的两倍(即：毒效值是其的一半)。

基于质量损失浓度的毒效：

材料 A： $LC_{50} = 20 \text{ g} \cdot \text{m}^{-3}$ ， $LCt_{50} = 600 \text{ g} \cdot \text{min} \cdot \text{m}^{-3}$ 。

材料 B： $LC_{50} = 10 \text{ g} \cdot \text{m}^{-3}$ ， $LCt_{50} = 300 \text{ g} \cdot \text{min} \cdot \text{m}^{-3}$ 。

B.3 危害分析

假设对于一个小的起燃源点，两种材料均能被烧穿，燃烧区域为一个圆，由起燃点向四周蔓延(见图 B.1)。因为材料 A 燃烧速度是材料 B 的两倍，在着火的初级阶段任何时期，材料 A 的消耗面积将是材料 B 的 4 倍。

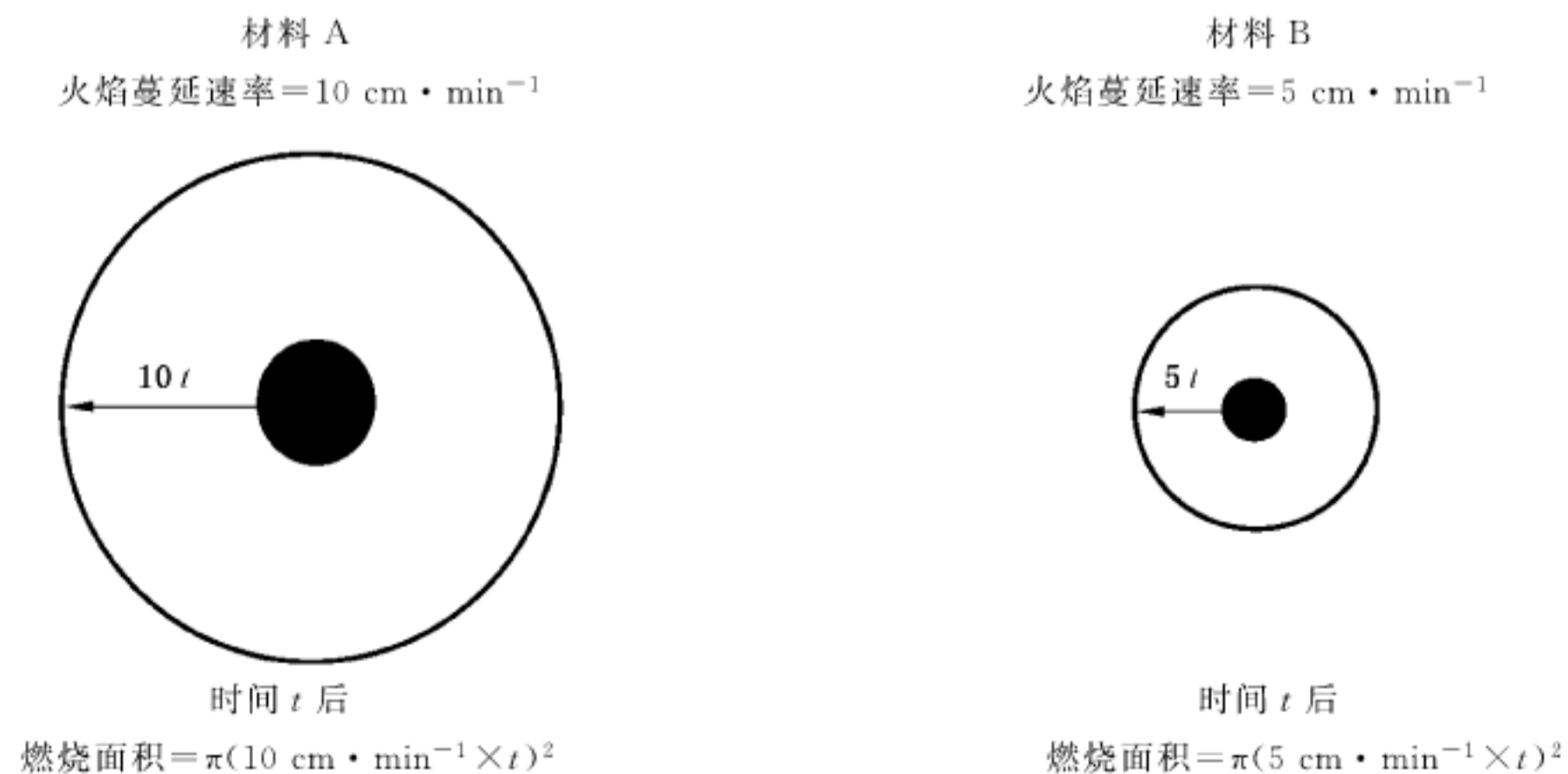


图 B.1 材料 A 和材料 B 的火焰蔓延速率

对于材料 A 的质量损失浓度 C , 在时间 t 内的计算公式为:

$$\begin{aligned} C &= \text{燃烧面积} \times \text{单位面积质量损失} \div \text{房间容积} \\ &= 3.1416 \times (10 \text{ cm} \cdot \text{min}^{-1} \times t)^2 \times 0.3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2} \div 40 \text{ m}^3 \\ &= 2.356 \text{ g} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{min}^{-2} \times t^2 \\ \text{暴露剂量} &= \int C \times dt = 2.356 \text{ g} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{min}^{-2} \times t^3 / 3 \end{aligned}$$

表 B.1 显示了材料 A 的计算值。每个时间点的 FED 是当时的暴露剂量除以该材料的半致死暴露剂量。当 FED 达到 1 时, 如果出现死亡, 毒理学终点被预测出。

材料 B 的对应值在表 B.2 中有给出。

图 B.2 是材料 A 和材料 B 在 40 m^3 房间内计算得到的 FED 曲线图。该分析显示, 对于材料 A, 致死条件在约 9 min 后出现, 比材料 B 推迟约 2.5 min。

因此总结为, 该情况下, 尽管事实上材料 B 的燃烧流毒性是材料 A 的两倍, 但材料 B 呈现的毒性危害却比材料 A 小。

表 B.1 材料 A 的 FED 计算值示例

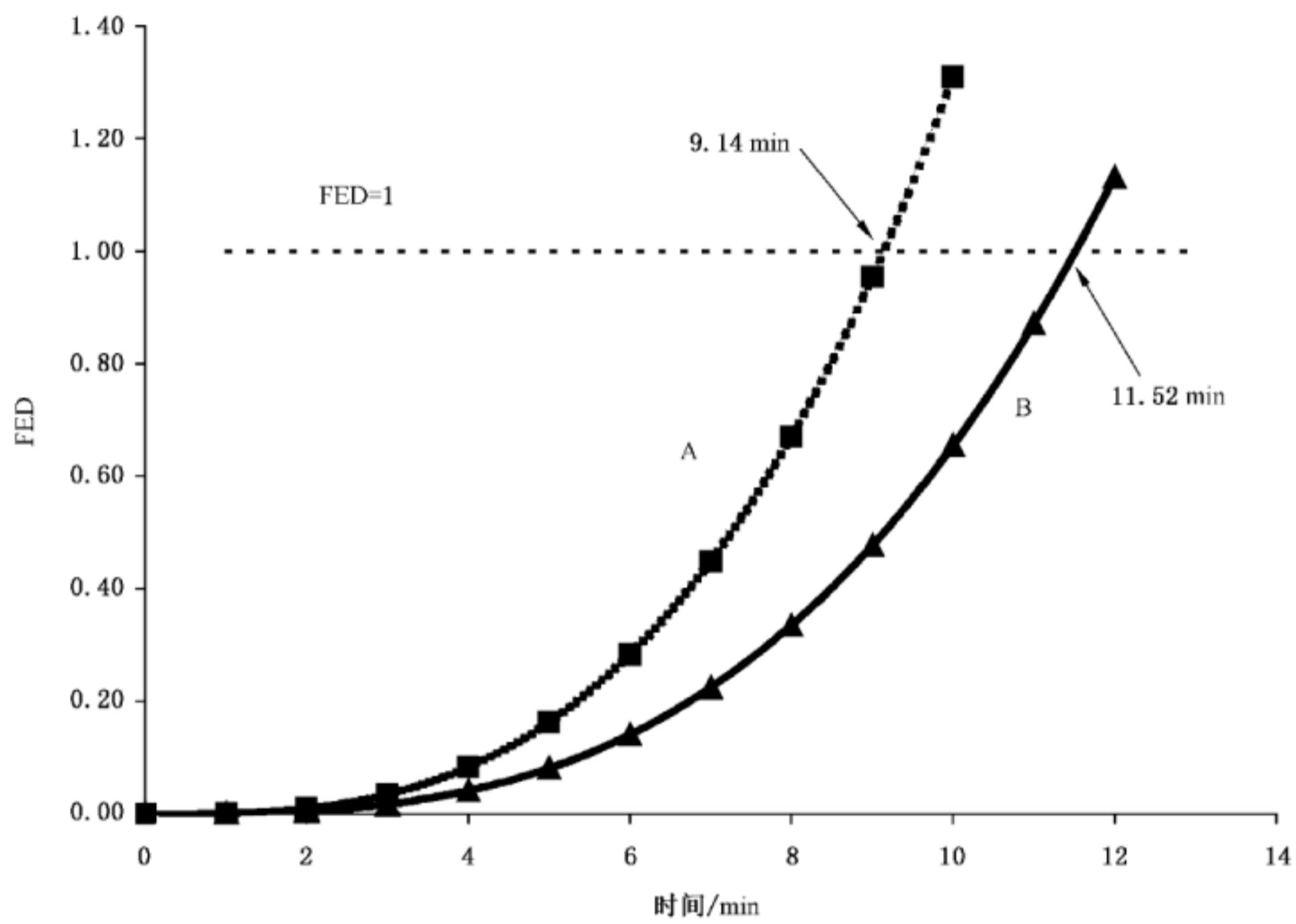
时间 min	燃烧面积 cm^2	燃烧质量 g	时间 t 的质量损失浓度 $\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$	质量损失浓度(对时间的积分)=暴露剂量 $\text{g} \cdot \text{min} \cdot \text{m}^{-3}$	FED
0	0	0	0.0	0.0	0.000
1	314	94	2.4	0.8	0.001
2	1 257	377	9.4	6.3	0.010
3	2 827	848	21.2	21.2	0.035
4	5 027	1 508	37.7	50.3	0.084
5	7 854	2 356	58.9	98.2	0.164
6	11 310	3 393	84.8	169.6	0.283
7	15 394	4 618	115.5	269.4	0.449
8	20 106	6 032	150.8	402.1	0.670
9	25 447	7 634	190.9	572.6	0.954
10	31 416	9 425	235.6	785.4	1.309

表 B.2 材料 B 的 FED 计算值示例

时间 min	燃烧面积 cm^2	燃烧质量 g	时间 t 的质量损失浓度 $\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$	质量损失浓度(对时间的积分)=暴露剂量 $\text{g} \cdot \text{min} \cdot \text{m}^{-3}$	FED
0	0	0	0.0	0.0	0.000
1	79	24	0.6	0.2	0.001
2	314	94	2.4	1.6	0.005
3	707	212	5.3	5.3	0.018
4	1 257	377	9.4	12.6	0.042
5	1 964	589	14.7	24.5	0.082
6	2 827	848	21.2	42.4	0.141

表 B.2 (续)

时间 min	燃烧面积 cm ²	燃烧质量 g	时间 <i>t</i> 的质量损失浓度 g · m ⁻³	质量损失浓度(对时间的积分)=暴露剂量 g · min · m ⁻³	FED
7	3 848	1 155	28.9	67.3	0.224
8	5 027	1 508	37.7	100.5	0.335
9	6 362	1 909	47.7	143.1	0.477
10	7 854	2 356	58.9	196.4	0.655
11	9 503	2 851	71.3	261.3	0.871
12	11 310	3 393	84.8	339.3	1.131



材料 A:毒效为 $600 \text{ g} \cdot \text{min} \cdot \text{m}^{-3}$,火焰蔓延速率为 $10 \text{ cm} \cdot \text{min}^{-1}$ 。

材料 B:毒效为 $300 \text{ g} \cdot \text{min} \cdot \text{m}^{-3}$,火焰蔓延速率为 $5 \text{ cm} \cdot \text{min}^{-1}$ 。

火情:水平燃烧扩散至 40 m^3 密闭房间的所有地板覆盖层。

图 B.2 两种材料在致死时间上(即 $\text{FED} \geq 1$ 时)的毒性危害相关性

附 录 C
(资料性附录)
刺激物的 F 值

刺激性气体的体积分数被认为会严重影响人员采取有效行为完成逃生(F 值)的能力,部分重要刺激物的 F 值列于表 C.1 中。

表 C.1 刺激物的 F 值(源自 ISO 13571:2007)

刺激物	F 值 $\times 10^6$
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

参 考 文 献

- [1] 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)
- [2] GB/T 5169.40—2015 电工电子产品着火危险试验 第40部分:燃烧流的毒性 毒效评定装置和试验方法(IEC/TS 60695-7-50:2002, IDT)
- [3] ISO/TS 19700:2007 Controlled equivalence ratio method for the determination of hazardous components of fire effluents
- [4] Hartzell, G.E., Smoke toxicity test development and use: Historical perspectives relevant to today's issues. In "Hazards of Combustion Products", Interscience Communications Ltd., 2008, London
- [5] Hartzell, G.E., and Emmons, H.E., The Fractional Effective Dose Model for Assessment of Hazards Due to Smoke from Materials, *Journal of Fire Sciences*, 6, (5), pp. 356-362 (1988).
- [6] Levin, B.C., Paabo, M. and Gurman, J.L., Effects of exposure to single and multiple combination of the predominant toxic gases and low oxygen atmospheres produced in fires. *Fundamental and Applied Toxicology*. 9, 236-250 (1987).
- [7] Engineering Guide for Predicting 1st and 2nd Degree Skin Burns (2000), Society of Fire Protection Engineers, Bethesda, MD
- [8] Crane, C., Human Tolerance Limit to Elevated Temperature: An Empirical Approach to the Dynamics of Acute Thermal Collapse, Federal Aviation Administration, Memorandum Report No. ACC-114-78-2, 1978.
- [9] Babrauskas, V., Levin, B.C., Gann, R.G., Toxic potency measurements for fire hazard analysis. NIST Special Publication 827, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD 20899, USA (1991).
- [10] Purser, D. A., Physiological effects of combustion products. In "Hazards of Combustion Products", Interscience Communications Ltd., 2008, London
- [11] Gann, R.G., Fire effluent, people, and standards: Standardization philosophy for the effects of fire effluent on human tenability. In "Hazards of Combustion Products", Interscience Communications Ltd., 2008, London
- [12] Gann, R.G., Babrauskas, V., and Peacock, R.D., Fire Conditions for Smoke Toxicity Measurements. *Fire and Materials*, 18, 193-199 (1994).
- [13] Babrauskas, V., Harris, R. H., and Braun, E., The Role of Bench—Scale Test Data in Assessing Full-Scale Toxicity, NIST Technical Note 1284, National Institute for Standards and Technology USA (1991).
- [14] Babrauskas, V., Levin, B.C., Gann, R.G., Toxic potency measurements for fire hazard analysis. NIST Special Publication 827, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD 20899, USA (1991).
- [15] IEC Guide 104, The preparation of safety publications and the use of basic safety publications and group safety publications
- [16] ISO/IEC Guide 51, Safety aspects—Guidelines for their inclusion in standards

中 华 人 民 共 和 国
国 家 标 准
电 工 电 子 产 品 着 火 危 险 试 验
第 39 部 分 : 燃 烧 流 的 毒 性
试 验 结 果 的 使 用 和 说 明

GB/T 5169.39—2015/IEC 60695-7-3:2011

*

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.gb168.cn

服 务 热 线 : 400-168-0010

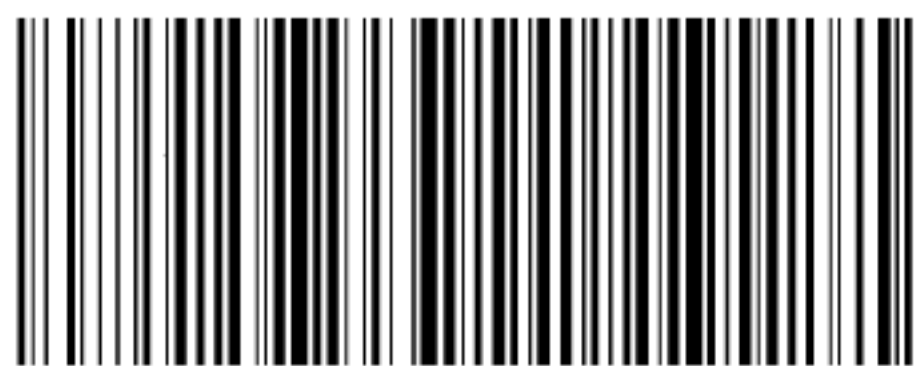
010-68522006

2015 年 12 月 第 一 版

*

书 号 : 155066 · 1-52740

版 权 专 有 侵 权 必 究



GB/T 5169.39-2015