



中华人民共和国国家标准化指导性技术文件

GB/Z 5169.42—2013/IEC/TS 60695-11-40:2002

电工电子产品着火危险试验 第 42 部分：试验火焰 确认试验 导则

Fire hazard testing for electric and electronic products—
Part 42: Test flames—Confirmatory tests—Guidance

(IEC/TS 60695-11-40:2002, Fire hazard testing—
Part 11-40: Test flames—Confirmatory tests—Guidance, IDT)

2013-12-17 发布

2014-04-09 实施

中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局
中国国家标准化管理委员会 发布

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定导则；
- 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 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 42 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/TS 60695-11-40:2002《着火危险试验 第 11-40 部分：试验火焰确认试验 导则》。

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 42 部分：试验火焰确认试验 导则》；

删除了第1章中最后一段资料性内容；

将“表2”改为：“表1”。

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：广东检验检疫局检验检疫技术中心。

本部分参加起草单位：中国电器科学研究院有限公司、宁波润轴汽配有限公司、宁波捷胜海洋开发有限公司、国家广播电视产品质量监督检验中心、武汉计算机外部设备研究所、工业和信息化部电子第五研究所、深圳市计量质量检测研究院、机械工业电工材料及特种线缆产品质量监督检测中心、威凯检测技术有限公司、山东省产品质量监督检验研究院、深圳出入境检验检疫局工业品检测技术中心。

本部分主要起草人：武政、吴倩、柯赐龙、贺波、高岭松、张效忠、张元钦、田松林、郭汉洋、陈兰娟、张静、陈坚。

电工电子产品着火危险试验

第 42 部分:试验火焰 确认试验 导则

1 范围

GB/T 5169 的本部分提供了小尺寸试验火焰的一般特性及基于铜块量热的相关确认试验,并且确定了相关动力学的理论模型。本部分为确认试验设计中关键参数的选择提供了指导,并为确认试验的其他性能参数的确定建立了理论依据,使确认试验加热曲线能进行精确及绝对的数学描述。

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/IEC 13943:2000 消防安全 词汇(Fire safety Vocabulary)

3 术语和定义

ISO/IEC 13943:2000 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

铜块热含量 copper block heat content

理论上的所有吸收或者释放的热能,仅与试验铜块的温度、质量及铜的比热容有关。

3.2

确认试验 confirmatory test

用来判断试验火焰、燃烧器或相关硬件是否正常工作热量测量程序。

3.3

火焰稳定器 flame stabilizer

组件通常安装在标准实验室本生灯或提利灯顶部,通过在流速较快的燃烧气和周围静止空气之间产生一层中间速度的气体中间层,来缓解由于燃烧气和周围空气产生紊流而导致的失稳效应。

4 试验火焰,燃烧器类型和动力学

4.1 通用动力学

火焰由可进行化学放热反应的氧化剂(以氧气或空气混合物为代表)和还原剂或燃料(以燃料气体或蒸汽为代表)的气态混合物产生。对于标准试验火焰,则由合适的装置把可燃性物质转化为所需的气态反应物并输出为持续气流,以获得所需标准火焰。

4.2 扩散火焰及燃烧器

扩散火焰是在装置的逸出口处由一种单纯的燃气流与空气混合时燃烧而产生的。扩散火焰的优点是装置简单(通常是简单的燃烧管),且能较好的模拟可能在设备中产生的真实火焰;缺点

是几何形状不稳定。

4.3 预混合火焰及燃烧器

预混合火焰是将达到燃点前的燃料气体与一部分助燃气体在燃烧管端部混合产生的。其余助燃气体则以类似的方式供给扩散火焰。最终形成的火焰具有锥形内焰,颜色常为浅蓝色,由含有过量燃料气体的预混合气体与空气混合物组成;锥形外焰,颜色常为稍深的蓝色,需要额外的空气扩散进入火焰上部维持。锥形内焰温度低得多且具有化学还原性,而锥形外焰则温度高得多且更具氧化性。

有时在逸出口处安装了火焰稳定装置,通过在速度较快的中央主气流和周围静止空气之间的界面上提供一层速度较慢的预混合气体,以减缓中央主气流及周围空气之间的速率梯度,提高火焰稳定性并防止火焰偏离燃烧器顶端。预混合气体由燃烧管上端的限流孔进入稳定火焰。预混合火焰的优点是效率更高,火焰温度更高,并且可以调节助燃气体和燃料气体的比例,但所需装置比扩散火焰所使用的装置更复杂。在预混合燃烧器中,助燃气体既可以直接计量供给,也可以通过可具有文丘里效应的开关阀调节供给。

4.3.1 可度量的空气预混合燃烧器

本设计用来控制空气及燃气的量度。其原理是让气体以特定流速和背压通过特定装置。空气的计量一般都有额外管路来实现,但仍需限制性的燃料气体孔穴以产生高速气流,达到更好的混合效果。如果既有空气计量管路也有燃气计量管路,则能够更好的控制最终产生的标准火焰。

4.3.2 文丘里(Venturi)空气预混合燃烧器

在传统装置比如本生灯和提利灯中,空气利用从限制性孔中出来的高速燃料气体流冲击可调节阀门产生的文丘里(Venturi)效应而排出。燃气出口大小可以是固定的也可以是通过锥形针调节的。因此,气体流量、背压以及空气阀门的调节显得特别重要。此种燃烧装置由于缺少空气管路,零部件较少,因此与计量空气混合燃烧装置相比一般比较简单,而且设计时体积也可以做的较小。

此类装置操作简单,在燃气出口可调节的情况下可以利用同一装置产生一系列尺寸的火焰,不过这些火焰一致性较差,不适合用来进行测试。

4.4 燃料气体

单一组分化合物如甲烷、丙烷或丁烷,一般规定甲烷和丙烷的纯度不小于98%,或者丁烷的纯度不小于95%,然而同等性能的混合物也可能合适。实验室等级的纯度则越高越好。

5 确认试验装置

5.1 导则

铜块量热试验是将标准形状的铜块置于试验火焰中,记录时间/热特性曲线,以此表征试验铜块吸收热量的速率。测得的温度随时间的上升速率与铜块净热焓的上升速率成正比,与铜块热容成反比。铜块净热焓随时间而变化是受对流、传导和辐射影响的结果。

5.2 程序和装置布置

火焰应调节到最优状态,并在空气无强制通风的环境中进行试验。将铜块置于火焰中,记录下铜块温度上升并超过指定范围所需的时间。

5.3 热电偶

热电偶应能工作于预计可能产生的最高温度。它应足够小以免影响铜块的热容量,还应有足够的强度以便挂住铜块。并且,热电偶应能经受住试验过程中,铜块正上方处火焰的极高温度。热电偶联结点应插入在铜块中央特定位置钻好的规定深度的孔中。鉴于在其他方法中曾出现过与热电偶安装相关的问题,建议通过用锤尖轻敲热电偶周围的铜块以使二者紧密相连,安装过程要小心以免损坏。

5.4 铜块材料

铜块材料(电解铜)的识别号为 Cu-ETP UNS C11000。这种电工级铜材料已被发现具有下述基本特征:

- a) 熔点远高于试验中可能产生的最高温度;
- b) 热扩散率高;
- c) 有明确的化学物质,易获得品质等级的金属元素;
- d) 易加工。

5.5 铜块质量

铜块质量通过材料的热容直接影响测试时间的范围,因此在确定合适时间范围时,应把铜块质量的选择作为主要考虑因素。

5.6 铜块形状

铜块形状应尽量简单,易于规定和适合实际制作。铜块的尺寸和外形应被设计成对火焰的影响最小,并能被特定的火焰区域完全包围。

5.7 铜块位置

铜块应在试验开始前用热电偶丝悬挂在燃烧装置上方的规定位置,使其位于火焰中央并能被火焰的高温部分完全包覆。对于喷嘴横截面为圆形的预混合火焰,一般来说铜块最好刚好放在内焰上方并完全处于外焰内部;对于线形火焰,铜块则需要放在特定位置以确保和火焰的高温部分完全接触(如图 1 所示)。

6 确认试验程序

6.1 测试温度范围

铜块通过对流和传导组合作用获得热量,又以热辐射方式流失热量(见第 7 章)。热辐射效应与铜块绝对温度的四次方成正比,且很大程度上取决于铜块表面辐射系数。为消除因铜块表面辐射系数变化导致的不确定性,建议将最高试验温度限制在辐射为最小时的水平,但也要足够高以得到合适的测试时间。目前得出合适的试验温度范围为 100 °C~700 °C。

6.2 试验时间范围

试验时间的范围应适用于有意义的记录。试验时间范围可通过选择铜块质量及最高试验温度来确定。在可能的情况下,建议使试验时间范围保持在 30 s~90 s 之内。

7 铜块量热动力学及理论

试验火焰的效力与其对试样的传热能力直接相关。铜块量热试验是将一个标准铜块置于试验火焰中,通过记录时间/热特性曲线表征热量在测试铜块中的传导率。测得温度随时间的上升速率与铜块净热焓的上升速率成正比,与铜块热容成反比。铜块净热焓的变化受对流、传导和辐射的影响。对流和传导效应增加的热量与铜块与火焰间的温差成正比,而辐射损失的热量与铜块绝对温度的四次方成正比。以上影响因素的相互关系可用下述绝对温度(T)对时间(t)的微分方程来表示:

$$d/dt(T) = A - BT - CT^4 \dots\dots\dots(1)$$

其中 A, B 和 C 为特性常数。如果 A, B, C 和起始温度(T_0)是已知或假定的,方程就可以利用数学方法如 Runge-Kutta 法精确解出。

下表列出了总高 125 mm, 蓝色锥形内焰高 40 mm 的标称 500 W 甲烷火焰的一些不是最理想 ($t_{(100-700)} \approx 57.5$ s) 但为典型的参数:

表 1 标称 500 W 甲烷火焰的典型参数

时间 s	温度 ℃	拟合抛物线	时间 s	温度 ℃	时间 s	温度 ℃
0	33.20	34.57	20	305.55	100	878.30
1	50.75	49.82	25	364.30	105	891.25
2	66.40	64.88	30	419.80	110	904.80
3	79.20	79.74	35	472.20	115	916.40
4	94.30	94.43	40	521.35	120	928.65
5	108.50	108.93	45	566.85	125	939.15
6	123.00	123.23	50	610.60	130	948.75
7	137.65	137.35	55	649.90	135	957.90
8	151.70	151.29	60	687.35	140	965.80
9	164.90	165.03	65	719.85	145	973.65
10	178.50	178.59	70	750.75	150	980.85
11	191.75	191.96	75	777.55	155	986.25
12	204.75	205.14	80	801.65	160	990.30
13	218.20	218.13	85	824.00	165	994.15
14	230.95	230.94	90	843.70	170	997.30
15	243.85	243.56	95	862.30	175	998.10
					180	1 000.80

起始温度 T_0 对于研究时间-温度特性至关重要,因此在试验开始 15 s 之内采集数据点应更多一些。依据经验和数学推理,在较低温度范围内进行试验,其参数之间近似符合抛物线方程 $T(t) = k_0 +$

$k_1 t - k_2 t^2$ 。上式中的 k_1 等常数可以用二阶多项式回归法算出,故得到试验开始 15 s 内的最佳抛物线拟合为 $T(t) = 34.57 + 15.34t - 0.09384t^2$ 。由 $k_0 = 34.57$ °C 可精确推出 T_0 的值。在表 1 的第三列中列举出了试验前 15 s 内抛物线方程中 k_0 的拟合值。

要确定最佳的 A, B 和 C 拟合常数非常困难,但其近似值可通过记录温度和特性曲线起点、中点和趋近终点处的近似斜率较容易地得到。将上述值代入微分方程,得到三个线性方程,然后利用如 Gauss-Jordan 的消元法求解。

对于任何近似 A, B 和 C 值,可由 Runge-Kutta 法预先精确推出的 T_0 值得到一个热特性曲线,并计算出实际测试值的均方根误差。首先利用 Gauss-Jordan 法得出 A, B 和 C 近似值,然后通过缜密的三维电脑网格搜索找出最佳的 A, B 和 C 值,以此将均方根误差降至最低,最终找出最佳的拟合曲线。

图 2 表明该方法得到的结果与之前的试验数据相比,均方根误差已降低至 2.9 °C。

利用已确定的参数 $A = 18.75, B = 0.01103$ 和 $C = 1.580$,每隔 5 °C 标出一个结果得到最佳拟合(较低的)曲线。尤其值得注意的是较高的曲线是通过设定 $C = 0$ 或者是通过数学法排除热辐射影响得到的。上方的虚线是由 $A/B = 1427$ °C 算出的渐近线,表示有效的火焰温度。拟合曲线的渐近线表示最终的探测温度,可由解 $d/dt(T) = 0$ 简单算出,为 $T_p = 1023$ °C。

参数 A, B 和 C ,以及有效火焰温度和最终探测温度都应针对某一热特性。由于测量两温度间的升温时间对于任何试验火焰来说都存在不均匀性,因此相比较而言,这或许能为精确表述试验火焰提供基础。

如果确认试验校正参数是铜块温度超过规定的范围(例如前述的从 100 °C ~ 700 °C)所需要的时间,那么对于离散数据,上述的抛物线拟合算法就显得非常有用。它表明抛物线拟合算法在温度低于 800 °C 时非常精确。

如果在微分方程中忽略辐射因子(C),那么就有可能得到精确解如 $T(t) = T_f - (T_f - T_0)e^{-Bt}$ (较高的曲线,其中 $T_f = A/B =$ 有效火焰温度, $T_0 = T(0) =$ 初始温度)。将 e^{-Bt} 项按无穷级数展开得出:

$$T(t) = T_0 + (T_f - T_0)Bt - (T_f - T_0)(B^2/2)t^2 + (T_f - T_0)(B^3/6)t^3 \cdots - (-1)^n (T_f - T_0)(B^n/n!)t^n \cdots \quad \text{.....(2)}$$

在低于 800 °C 时,式中含 (t) 幂数高于 2 的项都很小可以忽略不计。值得注意的是,忽略辐射因子会导致结果偏大,而忽略 (t) 高次项会使结果偏小。这两种结果相互抵消,使得拟合抛物线方程在温度低于 800 °C 时很精确。实际上,此算法在低于 900 °C 时都较精确,不过当温度接近 1000 °C 时会有所偏差,如图 3、4 和 5 所示分别表示升温至 800 °C、900 °C 和 1000 °C 时,由抛物线拟合算法计算的 $t_{(100-700)}$ 与前述表中结果的均方根误差。

如果为得到最佳拟合抛物线的理想数据将结果在时间轴上移动(一般会右移 2 s ~ 3 s),比如使 $T(0 \text{ s}) = 0$ °C,那么对于每个试验火焰及相应的上升率试验就能得到一个简单的标准抛物线方程 $T(t) = k_1(\text{new})t - k_2 t^2$ 。 k_1 是由 $k_1(\text{new}) = k_1(\text{old}) - 2k_2 d$ 转化而来,其中 d 为特性参考原点的时间偏移值,定义为:

$$d = [k_1(\text{old}) - (k_1(\text{old})^2 + 4k_0 k_2)^{1/2} / (2k_2)] \quad \text{.....(3)}$$

利用这种转化, k_0 被消除了而 k_2 保持不变。通过上述变换,比较适合 500 W 甲烷火焰的标准抛物线方程为 $T(t) = 16.09t - 0.07465t^2$ 。但随着近似理想试验的数据越来越多,式中的常数无疑也需要进行调整。

8 量热法及其原理—概要及建议

8.1 上升率确认试验的铜块量热动力学提出了一个理论模型及相应的数学分析方法。对任何数量有限的确认试验数据组都已有实用有效的近似数学方法(标准抛物线法)可以进行非常好的分析。而且对每一个测试火焰及相关确认试验,都可以利用理想上升率数据确定其标准抛物线方程中的相应参数。

8.2 如果仅进行温升时间的测定,确认试验就比较简单。如果能够对试验相关的标准抛物线参数进行评价,这将提高确认试验的价值。

8.3 确定每个测试火焰及相关上升率试验的标准抛物线方程参数时,可以考虑在实验室间进行理想试验数据比对,其中数据点的采集间隔应不小于 5 s,然后用二次多项式回归法求出。

8.4 如果有必要,确认试验的标准应考虑更新,包括温度点采集间隔不小于 5 s,应用标准抛物线方程中的最佳抛物线拟合方程的最大均方根误差。考虑到目前大多数用来测量温度/时间数据的设备,其数据采集能力已达要求;相关软件使试验分析更加方便。

9 结论

虽然上述背景资料有助于理解铜块温度上升的物理过程。然而由于实用性原因,目前发布的标准仍然只使用两个点来确定铜块的温升。测定温度从 100 °C 上升到 700 °C 所用的时间,且此时间应在指定的范围之内。

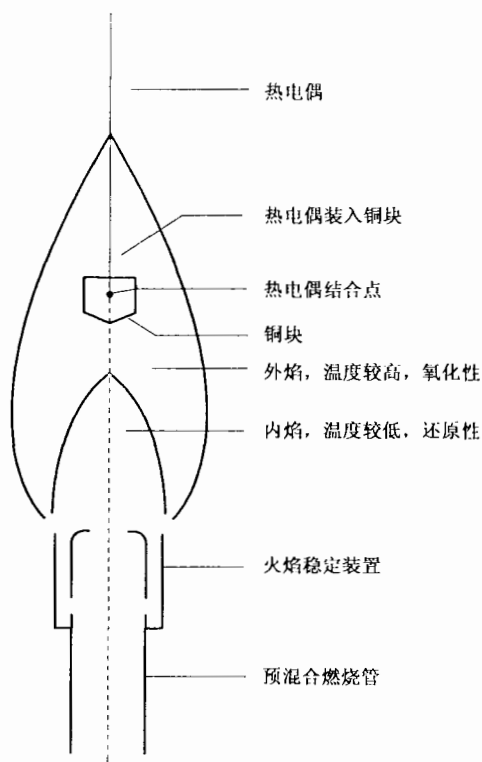


图 1 铜块位置示意图

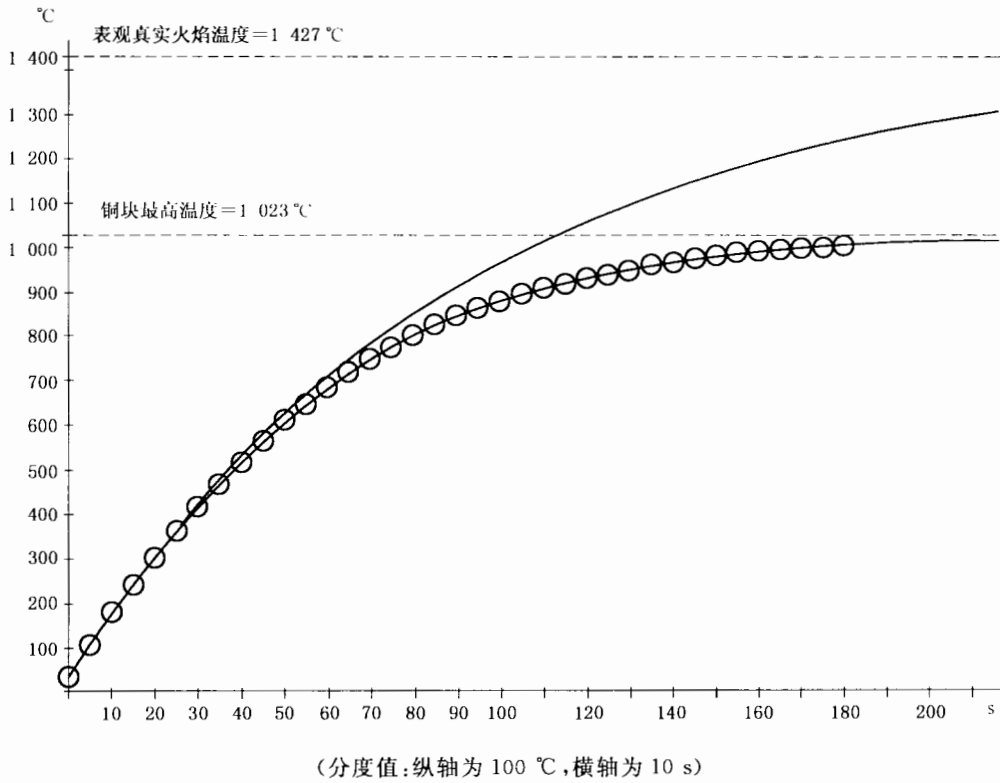


图 2 表 1 数据的计算结果

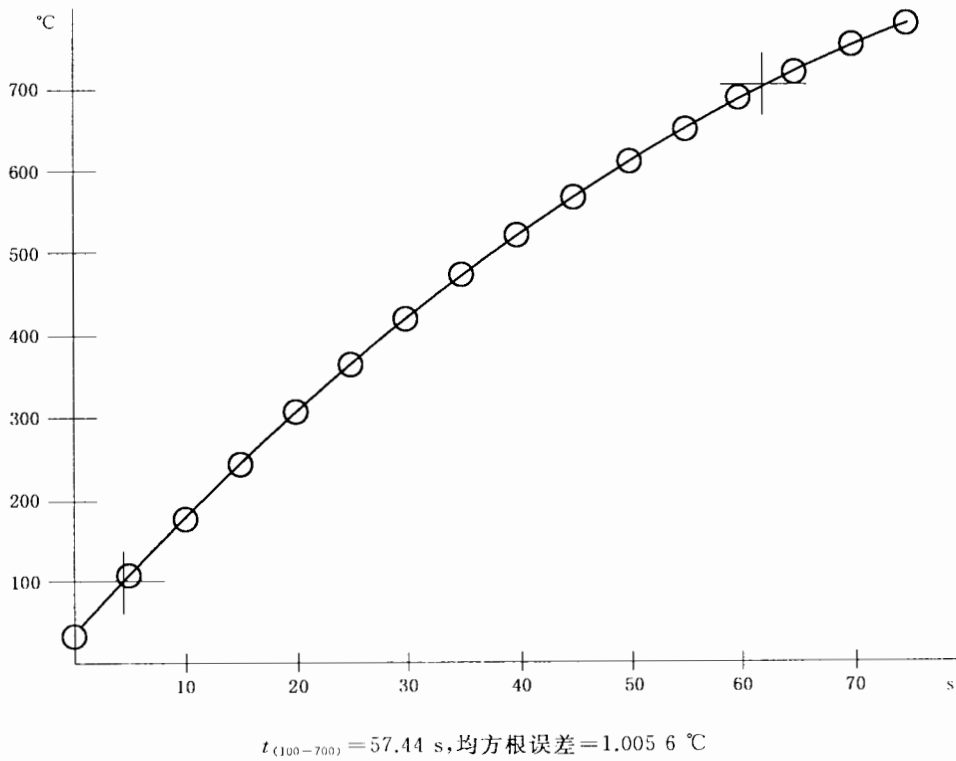
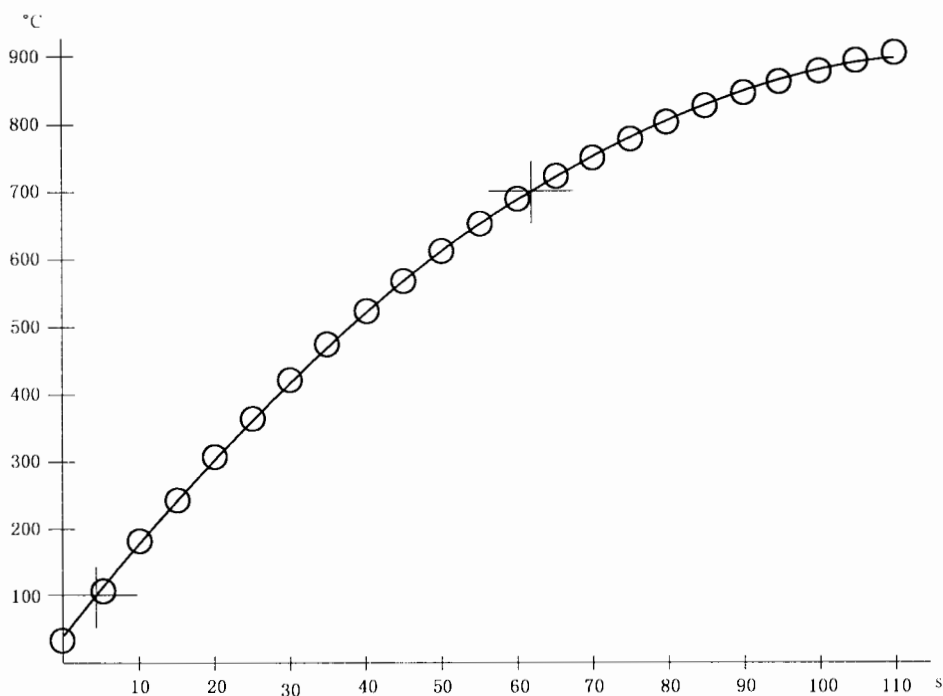
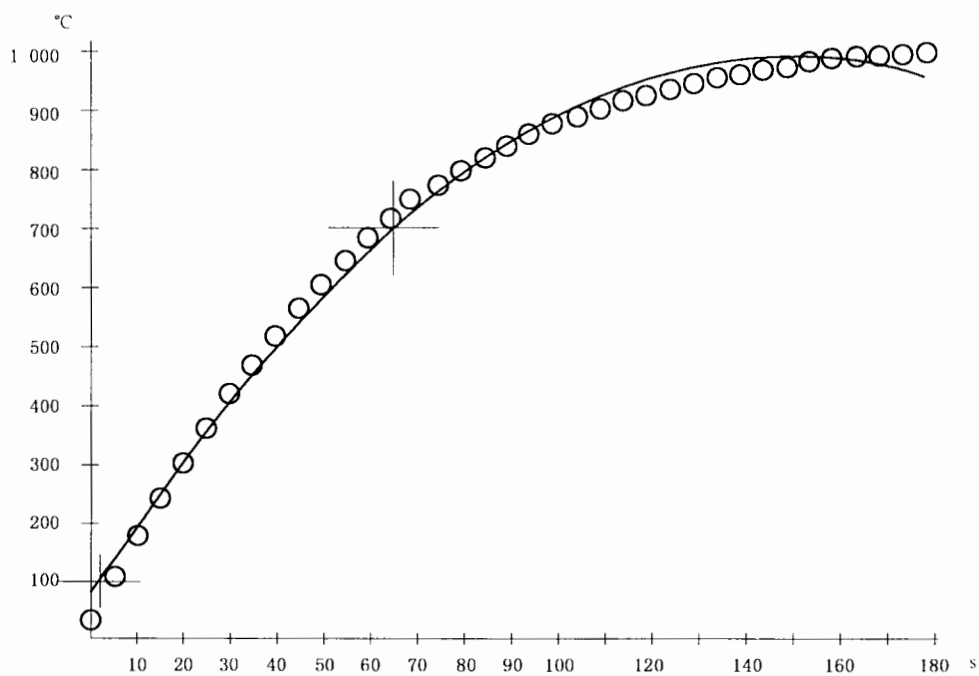


图 3 升温至 800 °C 时试验数据的拟合抛物线



$t_{(100-700)} = 57.67 \text{ s}$, 均方根误差 = 3.353 °C

图 4 升温至 900 °C 时试验数据的拟合抛物线



$t_{(100-700)} = 63.73 \text{ s}$, 均方根误差 = 21.2 °C

图 5 升温至 1 000 °C 时试验数据的拟合抛物线

参 考 文 献

- [1] IEC 60695-2-2:1991 Fire hazard testing Part 2: Test methods Section 2: Needle flame test
- [2] IEC 60695-2-4/1:1991 Fire hazard testing Part 2: Test methods Section 4 sheet 1: 1 kW nominal pre-mixed test flame and guidance
- [3] GB/T 5169.14 电工电子产品着火危险试验 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(GB/T 5169.14 2007,IEC 60695-11-2:2003,IDT)
- [4] IEC/TS 60695-11-3:2000 Fire hazard testing Part 11-3: Test flames 500 W flames Apparatus and confirmational test methods
- [5] IEC 60695-11-4:2000 Fire hazard testing Part 11-4: Test flames 50 W flames Apparatus and confirmational test methods
- [6] GB/T 5169.5 电工电子产品着火危险试验 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(GB/T 5169.5 2008,IEC 60695-11-5:2004,IDT)
- [7] GB/T 2408-2008 塑料 燃烧性能的测定 水平法和垂直法(IEC 60695-11-10:1999, IDT)
- [8] IEC 60695-11-20:1999 Fire hazard testing Part 11-20: Test flames 500 W flame test methods
- [9] IEC Guide 104:1997 The preparation of safety publications and the use of basic safety publications and group safety publications
-

中 华 人 民 共 和 国
国 家 标 准 化 指 导 性 技 术 文 件
电 工 电 子 产 品 着 火 危 险 试 验
第 42 部 分 : 试 验 火 焰 确 认 试 验 导 则
GB/Z 5169.42 2013/IEC/TS 60695-11-40:2002

*

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 (100013)
北 京 市 西 城 区 三 里 河 北 街 16 号 (100045)
网 址 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 字 数 18 千 字
2014 年 4 月 第 一 版 2014 年 4 月 第 一 次 印 刷

*

书 号 : 155066 · 1 · 48325 定 价 18.00 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/Z 5169.42-2013