



中华人民共和国国家标准

GB/T 11026.1—2016/IEC 60216-1:2013
代替 GB/T 11026.1—2003

电气绝缘材料 耐热性 第1部分：老化程序和试验结果的评定

Electrical insulating materials—Thermal endurance properties—
Part 1: Ageing procedures and evaluation of test results

(IEC 60216-1:2013, IDT)

2016-12-13 发布

2017-07-01 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

目 次

前言	Ⅲ
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义、符号和缩略语	1
4 程序概述—完整程序	4
5 详细的试验程序	4
6 评定	8
附录 A (资料性附录) 分散性和非线性	16
附录 B (资料性附录) 曝露时间和温度	17
附录 C (资料性附录) 早期版本中的一些概念	19
参考文献	21

前 言

GB/T 11026《电气绝缘材料 耐热性》分为以下几个部分：

- 第1部分：老化程序和试验结果的评定；
- 第2部分：试验判断标准的选择；
- 第3部分：计算耐热特征参数的规程；
- 第4部分：老化烘箱 单室烘箱；
- 第5部分：老化烘箱 温度达 300 °C 的精密烘箱；
- 第6部分：老化烘箱 多室烘箱；
- 第7部分：确定绝缘材料的相对耐热指数(RTE)；
- 第8部分：用固定时限法确定绝缘材料的耐热指数(TI 和 RTE)；
- 第9部分：利用简化程序计算耐热性导则。

本部分为 GB/T 11026 的第1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 11026.1—2003《电气绝缘材料 耐热性 第1部分：老化程序和试验结果的评定》，与 GB/T 11026.1—2003 相比主要技术变化如下：

- 删除了规范性引用文件中所有引用文件，增加了 GB/T 21223.1—2015、IEC 60212、IEC 60216-2、IEC 60216-3:2006、IEC 60216-4(所有部分)和 IEC 60216-8 等 6 个引用文件(见第2章,2003年版的第2章)；
- 增加了“终点”术语(见 3.1.20)；
- 删除了“3.2 条中‘条号’列和‘TEP’符号”(见 2003 年版的 3.2)；
- 删除了“4.2 条简化的数字评定程序和图解评定程序”(见 2003 年版的 4.2)；
- 删除了“第7章简化程序”(见 2003 年版的第7章)；
- 增加了“参考文献”。

本部分使用翻译法等同采用 IEC 60216-1:2013《电气绝缘材料 耐热性 第1部分：老化程序和试验结果的评定》(第6版)。

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 10580—2015 固体绝缘材料在试验前和试验时采用的标准条件(IEC 60212:2010, IDT)；
- GB/T 11026.2—2012 电气绝缘材料 耐热性 第2部分：试验判断标准的选择(IEC 60216-2:2005, IDT)；
- GB/T 11026.3—2006 电气绝缘材料 耐热性 第3部分：计算耐热特征参数的规程(IEC 60216-3:2002, IDT)；
- GB/T 11026.4—2012 电气绝缘材料 耐热性 第4部分：老化烘箱 单室烘箱(IEC 60216-4-1:2006, IDT)；
- GB/T 11026.5—2010 电气绝缘材料 耐热性 第5部分：老化烘箱 温度达 300 °C 的精密烘箱(IEC 60216-4-2:2000, IDT)；
- GB/T 11026.6—2010 电气绝缘材料 耐热性 第6部分：老化烘箱 多室烘箱(IEC 60216-4-3:2000, IDT)；
- GB/T 11026.9—2016 电气绝缘材料 耐热性 第9部分：利用简化程序计算耐热性导则

(IEC 60216-8:2013, IDT)。

本部分由中国电器工业协会提出。

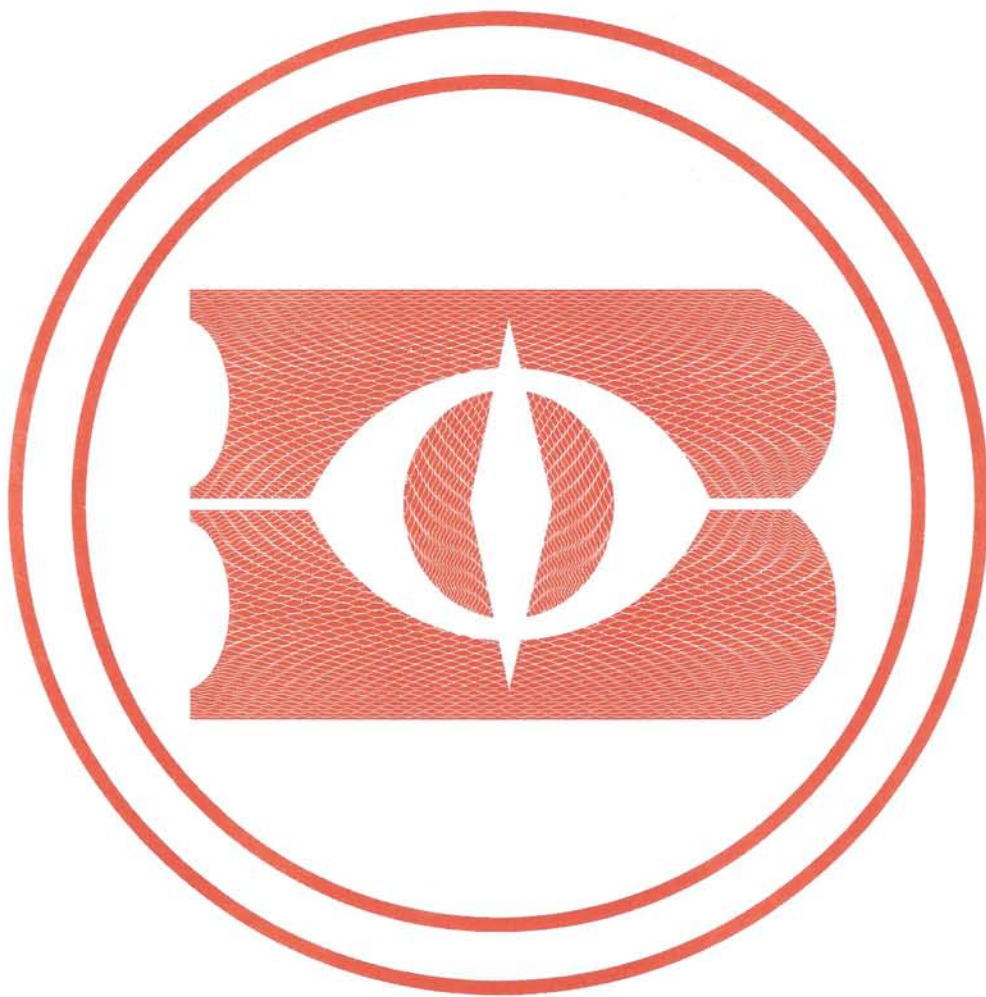
本部分由全国电气绝缘材料与绝缘系统评定标准化技术委员会(SAC/TC 301)归口。

本部分起草单位:桂林电器科学研究院有限公司、机械工业北京电工技术经济研究所、上海电缆研究所、杜邦(中国)研发管理有限公司、嘉兴市新大陆机电有限公司、3M 中国有限公司。

本部分主要起草人:于龙英、刘亚丽、史建设、张晓晶、陈昊、陆云峰、吴化军、庄猛。

本部分所代替标准的历次版本发布情况为:

——GB/T 11026.1—1989、GB/T 11026.1—2003。



电气绝缘材料 耐热性

第1部分:老化程序和试验结果的评定

1 范围

GB/T 11026 的本部分规定了用作获得耐热特征参数的一般老化条件和程序,并给出使用 GB/T 11026 其他部分中的详细规程和准则的指导。

注1:最初制定本部分是为了供电气绝缘材料及其简单组合体使用,但这些程序被认为是更具有普遍应用性以及能够广泛地应用于那些非电气绝缘用材料的评定。

注2:在使用本部分时,假设引起预定性能变化所需要时间的对数与相对应的绝对温度的倒数之间存在着线性关系(Arrhenius 关系)。

注3:为了有效应用本部分,在所研究的温度范围内,应该不发生转变,特别是一级转变。

注4:GB/T 11026 的所有其他部分,仍旧用术语“绝缘材料”来表示“绝缘材料及其简单组合”。

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 21223.1—2015 老化试验数据统计分析导则 第1部分:建立在正态分布试验结果的平均值基础上的方法(IEC 60493-1:2011,IDT)

IEC 60212 固体绝缘材料在试验前和试验时采用的标准条件(Standard conditions for use prior to and during the testing of solid electrical insulating materials)

IEC 60216-2 电气绝缘材料 耐热性 第2部分:电气绝缘材料耐热性的测定 试验判断标准的选择(Electrical insulating materials—Thermal endurance properties—Part 2:Determination of thermal endurance properties of electrical insulating materials—Choice of test criteria)

IEC 60216-3:2006 电气绝缘材料 耐热性 第3部分:计算耐热特征参数的规程(Electrical insulating materials—Thermal endurance properties—Part 3:Instructions for calculating thermal endurance characteristics)

IEC 60216-4(所有部分) 电气绝缘材料 耐热性 第4部分:老化烘箱(Electrical insulating materials—Thermal endurance properties—Part 4: Ageing ovens)

IEC 60216-8 电气绝缘材料 耐热性 第8部分:利用简化程序计算耐热性导则(Electrical insulating materials—Thermal endurance properties—Part 8: Instructions for calculating thermal endurance characteristics using simplified procedure)

3 术语和定义、符号和缩略语

3.1 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1.1

温度指数 temperature index; TI

从耐热性关系推出的时间为 20 000 h(或其他规定时间)时的摄氏温度的数值。

3.1.2

半差 halving interval; HIC

表示在温度等于 TI 时取得的终点时间的一半到终点时间的开氏温度间隔的数值。

注：修改 GB/T 2900.5—2013, 定义 212-12-13。

3.1.3

耐热图 thermal endurance graph

耐热性试验中达到规定终点时间的对数与热力学(绝对)试验温度倒数关系曲线的图。

注：修改 GB/T 2900.5—2013, 定义 212-12-10。

3.1.4

耐热图纸 thermal endurance graph paper

以对数时间刻度作为纵坐标, 分度为 10 的幂方的图纸(常用范围从 10 h~100 000 h)。横坐标的值与热力学(绝对)温度的倒数成正比。

注：通常把横座标分成非线性(摄氏)温度刻度, 随温度从左到右增加。

3.1.5

有序数据 ordered data

一组按顺序排列的数据, 使得在整个顺序的相应方向中, 每一数据大于或等于其前面一项。

注：在部分中, 采用数据上升的排列方式, 第一顺序统计量是最小的。

3.1.6

次序统计量 order-statistic

在一组有序数据中的每一个别值称为次序统计量, 用它在次序中的数字位置来表示。

3.1.7

不完全数据 incomplete data

有序数据, 其中高于和/或低于规定点的值是未知的。

3.1.8

截尾数据 censored data

不完全数据, 其中未知值的个数是已知的。

注：如果开始检查的是高于或低于某一规定值, 则这种检查为 1 型。如果检查的是高于或低于某一规定的次序统计量则其为 2 型。本部分仅涉及到 2 型。

3.1.9

自由度 degrees of freedom

数据值的个数减去参数值的个数。

3.1.10

一组数据组的方差 variance of a data set

数据与由一个或几个参数确定的参照水平的偏差的平方总和, 除以自由度的数值。

注：例如, 参照水平可以是一个平均值(一个参数)或一条线(两个参数, 斜率以及截距)。

3.1.11

数据组的协方差 covariance of data set

对带有相等数目的元的两组数据, 其中一组数据中的每一个元相应于另一组中的一个元, 相对应的元与其组的平均值的偏差乘积总和, 除以自由度的数值。

3.1.12

回归分析 regression analysis

推出表示两个数据组的各相应元之间关系的最佳拟合直线的过程, 使得一个数据组的各个元与拟合线的偏差的平方总和为最小。

注：把这些参数称之为回归系数。

3.1.13

相关系数 correlation coefficient

表示两数据组各元之间相互关系的完整性的数,它等于协方差除以数据组方差乘积的方根。

注:其平方的值是在 0(表示不相关)与 1(表示完全相关)之间。

3.1.14

置信限 confidence limit; TC

从试验数据计算得到的统计参数,带有 95% 置信度的它构成由 TI 评估的温度指数实际值的下限。

注 1: 95% 置信度意味着温度指数实际值低于 TC 的概率只有 5%。

注 2: 其他方面, 95% 以外的置信值有时可以应用,例如在破坏性试验数据的线性检验中。

3.1.15

破坏性试验 destructive test

诊断性能试验,试样在性能测量过程中发生不可逆变化,因此,不可能在同一试样上重复测试。

3.1.16

非破坏性试验 non-destructive test

诊断性能试验,试样性能未因测量而发生永久性变化,因此,经过适当处理后,可以在同一试样上进行下一次测试。

3.1.17

检查试验 proof test

诊断性能试验,其中,在每一老化周期结束时,每一试样承受某一规定的应力,然后进行下一老化周期直至试验过程中试样失效。

3.1.18

温度组 temperature group

共同曝露于同一烘箱中、在同一温度下老化的试样数。

注:在不会引起模糊的场合,可以把温度组或试验组简称为组。

3.1.19

试验组 test group

一起从温度组(如上述)中取出进行破坏性试验的试样数。

3.1.20

终点 end point

以耐热性评估试验为基础,诊断特征值的极限。

3.2 符号和缩略语

下列符号和缩略语适用于本文件。

a, b	回归系数
$n_{a, b, c, d}$	破坏性试验的试样数
n	Y 值的个数
N	试样的总数
m_i	第 i 个温度组内的试样数(检查过的数据)
r	相关系数
F	Fisher 分布的随机变量
x	热力学温度的倒数($1/\theta$)
y	终点时间的对数
ϑ	温度, °C

Θ	热力学温度(开尔文)
Θ_0	0 °C 的开尔文值(273.15 K)
τ	(终点)时间
χ^2	χ^2 一分布的随机变量
μ^2	数值组的二阶中心矩
TI	温度指数
TC	TI 的 95% 下置信限
HIC	温度等于 TI 时的半差
RTI	相对温度指数

4 程序概述—完整程序

评定一种材料热性能的标准化程序,按下述先后步骤进行:

注: 优先推荐使用如下及 5.1~5.8 所述的完整详细程序。

- 制备适量供性能测量用的试样(见 5.3);
- 把试样分组进行几个确定的高温水平下的老化,既可以连续地也可以循环地进行若干周期,在进行周期性试验之间,通常把试样恢复到室温或另一个标准温度(见 5.5);
- 对试样进行诊断试验以揭示老化程度,诊断试验可以采用非破坏性试验或破坏性试验进行某一性能的测定或采用有可能使试样遭受破坏的检查试验(见 5.1 和 5.2);
- 延长连续热曝露或热循环直至规定的终点,即达到试样失效或在被测性能变化达到规定的程度(见 5.1、5.2 和 5.5);
- 根据老化程序种类(连续的或周期的)以及诊断试验(见 c 项)报告试验结果,包括:老化曲线或每一试样到达终点的时间或周期数;
- 按 6.1 及 6.8 所述用数字方法评定这些数据并作图;
- 按 6.2 所述,以温度指数和半差的缩写数字形式表示完整的信息。

第 5 章~6.8 给出完整的试验和评定的程序。简化程序见 IEC 60216-8。

5 详细的试验程序

5.1 试验程序的选择

5.1.1 概述

每一试验程序应规定试样的形状、尺寸和数目,曝露温度和时间,与 TI 相关的性能,性能测定方法,终点,以及从试验数据推出耐热特征参数。

如果可能,所选的性应尽可能反映材料在实际应用中的功能。IEC 60216-2 给出了性能选择。

为了提供均一条件,可能需要规定试样从烘箱中取出后和测量前的条件处理。

5.1.2 TI 测定的具体规程

如果有 IEC 材料规范,通常会给出 TI 值可接受下限的性能要求。如果没有这样的材料规范,则可从 IEC 60216-2 中选择评定耐热性的性能和方法;若从 IEC 60216-2 中找不到合适的方法,则优先按照选用国际、国家或学会、协会的标准或某种专门设计的方法的顺序选择评定耐热性的性能和方法。

5.1.3 终点时间不是 20 000 h 的 TI 测定

通常所要求的耐热特征参数持续时间预定为 20 000 h。然而,常常还需要较长或较短的时间的信

息。在较长的时间情况下,按本部分的要求或推荐时间(如 5 000 h 作为最长的终点时间的最小值),应按实际规定的时间与 20 000 h 之比率增加。同理,老化周期持续时间也应以大致的比率变化。再次,温度外推应不超过 25 K。在较规定时间短的情况下,必要时,可能要以相同比率减少相应时间。

注:在规定时间很短的情况下,因为较高的老化温度可能把温度引入包括转变点在内的区域,例如,玻璃化转变温度或局部熔融,并随之引起非线性。很长的规定时间也可能导致非线性见附录 A。

5.2 终点选择

材料的耐热性可能需要由不同的耐热数据(应用不同性能和/或终点得到的)予以表征,以便合理选择材料来满足某一绝缘系统的特殊应用见 IEC 60216-2。

确定终点可任选下述两种方法之一:

- a) 取相对于性能初始值增加或减少的某个百分数。该方法将提供材料之间的比较,但与它正常运行中所要求的性能值关系较下述 b) 法差。初始值的确定见 5.4。
- b) 取性能的固定值。可以按通常运行要求选择这个值。检查试验的终点主要是以性能的固定值形式给出。

选择终点最好能反映绝缘材料劣化的程度,即这种劣化降低了材料在某一绝缘系统中实际运行时承受某种应力的能力。作为表明试验达到终点的性能劣化程度最好与实际应用中所要求的材料性能允许安全值有关。

5.3 试样的制备和数量

5.3.1 制备

老化试验用试样应由所研究总体中随机抽取的样品组成并经均一化处理。

材料规范或试验方法标准要包括关于试样制备的所有必要的说明。

某些情况下,在耐热性测定的性能测量表中规定了试样的厚度,见 IEC 60216-2。如果没有规定,则应报告厚度。某些物理性能甚至对试样厚度的微小变化都是敏感的,在这种情况下,如果相应规范有要求的话,则在每一老化周期之后,可能需要对厚度进行测定并报告。

厚度之所以重要还因为老化速率可能会随厚度而变化。不同厚度材料的老化数据不总是可比的。因此,一种材料可能会从不同厚度下性能测量得出一个以上的耐热特征参数。

试样尺寸偏差最好与常规的用于一般试验的偏差相同,对于试样尺寸偏差要比那些常规用的偏差小的场合,应给出这些特殊偏差。筛选性测量确保试样具有待评材料相同质量和特征。

由于加工过程条件可能会显著地影响到某些材料的老化特性,因此要保证如在取样、从供货卷上切取片材、按给定方向切取各向异性材料、模塑、固化及预处理等方面,所有试样都是按相同方法进行的。

5.3.2 试样数量

5.3.2.1 概述

耐热性试验结果的准确性,很大程度上取决于每一温度下老化试样的数量。IEC 60216-3 给出了合适试样数量的说明。通常,下述说明(5.3.2.1~5.3.2.3)是适用的,这些说明影响到 5.8 给出的试验程序。

切实可行的做法是另外制备一些试样或至少要从同批原始材料中提供一定备用品,以便以后可以从中制备试样。这样,当遇到意外的复杂情况时,可以对这些另外制备的试样进行所需要的老化,使得试样组之间发生系统误差的风险降低到最小程度。如果耐热性相互关系证明是非线性的,或如果由于烘箱的热失控而导致试样损失,这样的复杂情况是可能会发生的。

在非破坏性试验或检查试验的试验判断标准是根据性能初始值的场合,则测定该性能所需要的一

组试样数量最好至少是每一温度组试样的两倍。对于破坏性试验见 5.3.2.4。

5.3.2.2 非破坏性试验的试样数量

通常对每一曝露温度下,一组五个试样是适合的。如需要更详细的指导见 IEC 60216-3。

5.3.2.3 检查试验的试样数量

通常要求每一曝露温度至少一组由 11 个试样组成。如果在每一组内的试样数是奇数则对图解法求解及在某些其他情况下,数据处理可能更加简单。若需更详细的资料见 IEC 60216-3。

5.3.2.4 破坏性试验的试样数量

试样数(N)按式(1)得出:

$$N = n_a \times n_b \times n_c + n_d \quad \dots\dots\dots (1)$$

式中:

n_a ——某一试验组内经过一个温度下相同处理且在性能测定之后抛弃的试样数(通常为五个);

n_b ——在一个温度下的处理次数,即曝露次数的总数;

n_c ——老化温度水平的个数;

n_d ——组内用于确定性初始值的试样数。当诊断标准是以其性能相对于其初始水平的百分变化时,正常的做法是取 $n_d = 2n_a$ 。当诊断标准是某一性能绝对水平时,通常 n_d 是零,除非要求报告初始值。

5.4 初始性能值的确定

用于测定性能初始值的试样应从准备进行老化的试样总体中随机选取一部分。性能值测定之前,应把这些试样在老化试验温度的最低水平下(见 5.5)曝露两天($48 \text{ h} \pm 6 \text{ h}$)进行条件处理。

在某些情况下(例如很厚的试样),可能需要多于两天的时间以达到一个稳定值。

除非在诊断性能的方法中另有说明(例如,材料规范中涉及试验方法的部分或列入 IEC 60216-2 中的方法),初始值是取试验结果的算术平均值。

5.5 曝露温度和时间

对 TI 测定,宜把试样曝露于不少三个、最好四个或以上的温度下,这些温度应包含有足够范围,以便能证明到达终点时间与热力学(绝对)温度倒数之间的线性关系。

为了减少在计算相应的耐热特征参数中的不确定性,需要仔细选择热曝露的整个温度范围,注意下列要求(如果项目所需时间为 20 000 h,见 5.1.3):

- 测定 TI 时,最低的曝露温度应是能使测得的终点的平均时间或中值时间大于或等于 5 000 h (见 5.1.3);
- 为确定 TI 而进行的外推应不大于 25 K;
- 最高曝露温度应是能使测得的终点的平均值或中值时间大于 100 h(如果可能,小于 500 h)。

对某些材料,也许不能达到终点时间小于 500 h 而仍保持足够的线性度。然而,重要的是,对相同数据分散性而言,较小的平均终点时间范围将导致结果的较大的置信区间。

有关如何应用非破坏性试验、检查试验或破坏性试验的试验判断标准,5.8 提供了详细的说明。

表 1 给出了初始选择建议的曝露温度和时间指导。

附录 B 给出了在确定时间和温度中有用的若干推荐和建议。

5.6 老化烘箱

在整个老化过程中,老化烘箱中放试样空间的温度应保持在 IEC 60216-4 给定的偏差范围内。除

非另有规定,否则应采用 IEC 60216-4-1 规定的烘箱。

烘箱内的空气循环和换气量最好应足以保证热降解速率不因分解产物的堆积或氧气的减少而受到影响(见 5.7)。

5.7 环境条件

5.7.1 概述

特殊环境条件的影响,如极端的潮湿、化学污染或振动,在多数情况下,可能通过绝缘系统试验进行评定更加适合。然而,在环境条件处理方面,除空气外的其他大气的影响和浸液(例如浸油)可能是重要的,但这些不是本部分的内容。

5.7.2 老化过程的大气条件

除另有规定外,老化应在运行于标准实验室大气中的烘箱内进行。然而,某些对烘箱内湿度非常敏感的材料,当放置老化烘箱的房间内的绝对湿度受到控制,并使其等于 IEC 60212 的相应的标准大气 B 的绝对湿度时,可得到更加确实可靠的结果。因此,应报告上述或其他规定的条件。

5.7.3 性能测量的条件处理

除非另有规定,否则试样在测量之前应进行条件处理,并应按照材料标准规范规定的条件进行测量。

5.8 老化程序

5.8.1 概述

本条是有关应用下列试验的基本程序:

- a) 非破坏性试验;
- b) 检查试验;
- c) 破坏性试验。

按 5.3 说明,制备若干试样。如有必要,按 5.4 规定,测定性能的初始值。把试样按曝露温度的个数随机地分成相同个数的组。

按 5.5 说明,确定曝露温度和时间(见附录 B)。

在符合 5.6 要求的每一烘箱中放置一组试样进行曝露,烘箱应尽可能保持接近从表 1 所选取的温度。

注 1: 建议给每一个试样做标记以简化它每次试验后正确地返回烘箱。

注 2: 要注意 5.3 推荐,制备额外备用试样组的建议,以便达到附录 B 所述的目的,尤其是能够早期着手进行在外加温度水平下,新试样的老化。

5.8.2 非破坏性试验的应用程序

在每一周期结束时,从各自烘箱中取出试样组,除另有规定外,否则应让其冷却至室温(见 5.7)。某些试验的性能可能要求在烘箱温度下测量,在这种情况下,老化继续进行。

对每一试样进行相应试验,然后把试样组放到原烘箱,在如同以前一样的温度下,进行下一周期的曝露。继续温度曝露周期、冷却并施加试验直至试样组内试样的平均测得值达到规定的终点并至少提供超过终点的一个点。

按 6.1 所列及 IEC 60216-3 评定结果,并按 6.8 规定报告结果。

5.8.3 检查试验的应用程序

按检查试验程序,试验的试样应随机地从通过筛选检查试验的试样中抽取。

每一周期结束时,从烘箱中取出所有试样。每次取出后,试样应冷却至室温,然后,每一试样均应进行规定的检查试验。再把通过检查试验的试样放到原烘箱中,在如同以前一样的温度下,进行下一周期的曝露。

继续温度曝露周期、冷却及施加检查试验,如果试样数(m)是奇数,则直至中值试样数 $(m+1)/2$ 失效;如果试样数是偶数,则直至中值试样数 $(\frac{m}{2}+1)$ 失效。如果结果显示该终点时间很可能是在大约10个曝露周期内达到,则没有必要改变原来选择的曝露周期;如果结果没有这种显示,则可能要改变周期,使得至少在7个周期(最好是10个周期左右)内得到期望的中值结果,应在第4周期之前作出改变周期时间的决定。

可以继续温度曝露周期直至所有试样失效,以便可进行更加完整的统计分析见 IEC 60216-3。

按 6.1 所列及 IEC 60216-3 评定结果,按 6.8 规定报告结果。

5.8.4 破坏性试验的应用程序

对每一烘箱,随机选取预定试样数量($=n$,见 5.3.2.4)的一个试验组,按合适的曝露时间顺序经某段时间之后,把试验组分别从烘箱中取出,见 5.5、附录 B 及表 1。

在每一次取出之后,除非另有规定,否则一组试样应冷却至室温,对预期其性能会随温度或湿度显著变化的材料,除非另有规定,否则应将这些试样在 IEC 60212 的 B 标准大气中条件处理(12~24)h。对试样进行试验并按 IEC 60216-3 以结果和结果的算术平均值(或其合适的变换形式)对曝露时间的对数作图。

按 6.1 所列及 IEC 60216-3:2006 第 6 章细节评定结果,并按 6.8 规定报告结果。

6 评定

6.1 试验数据的数值分析

6.3~6.7 规定了试验数据的所有完整分析的数字计算程序。TI 数据的分析是建立在这样假设基础上的:终点时间的对数与热力学老化温度的倒数之间存在着线性关系。

评定 TI 结果的优选方法是按 IEC 60216-3 细述的数字程序,并同时用如图 1 所示的图展示。简化程序见 IEC 60216-8。

6.2 耐热特征参数和形式

耐热性特征参数是:温度指数 TI 和半差 HIC。

电气绝缘材料的耐热性总是针对某一具体性能和终点给出的。如果忽略这一点,所参考的耐热性能没有任何意义。因经受过热老化的材料性能可能未必按相同速率全部变坏,因此,一种材料可能会得出一个以上的温度指数或半差,例如,从不同性能测量得出的。

对于按数值法推导并满足有关线性度和分散度统计条件的场合,其表示形式为:

TI(HIC):TI 值(HIC 值),

例如, TI(HIC):152(9.0)。

应把 TI 值表示成最接近的整数, HIC 值表示成一位小数。

对于图解推导或不能满足统计条件的场合,其表示形式为:

TI_g=TI 值, HIC_g=HIC 值,

例如, $TI_g=152$, $HIC_g=9.0$ 。

如果推导 TI 时,应用的时间不是 20 000 h,则应说明以 kh 表示的相关时间,即数值后加上 kh。因此,这样 TI 的表示形式为:

TI 以 kh 为单位的时间(HIC):TI 值(HIC 值)

例如, $TI_{40\text{ kh}}(\text{HIC}):131(10.0)$,

并且该形式也适用于 TI_g ,

例如, $TI_{g40\text{ kh}}=131$, $HIC=10.0$ 。

对于按简化程序(见 IEC 60216-8)推导的场合,表示形式为:

$TI_s=TI$ 值, $HIC_s=HIC$ 值,

例如, $TI_s=152$, $HIC_s=9.0$ 。

6.3 终点时间, x -和 y -值

6.3.1 概述

对每一温度组, x -值应用式(2)计算:

$$x = 1/(\vartheta + \theta_0) \quad \dots\dots\dots (2)$$

式中:

ϑ ——以摄氏度表示的老化温度, $\theta_0 = 273.15\text{ K}$ 。

6.3.2 非破坏性试验

在试样的每一温度组内,每一试样都获得每一老化周期后的性能值。从这些值(如果需要,通过内插,见图 2)获得终点时间并计算它的对数作为 6.4 中用到 y -值的值。

6.3.3 检查试验

对每一温度组内的每个试样,计算最接近到达终点之前的老化周期的中点时间并取该时间的对数作为 y 值。

在第一个老化周期内的终点时间应作无效处理。在这种情况下,要么,

- a) 用新的试样组开始老化,或者;
- b) 不管这些试样并把归入第 i 组内的试样数(m_i)的值减少一个。

如果在第一周期过程中有一个以上试样达到终点,则去除这组并试验另外一组,要特别注意试验程序的任何临界点。

6.3.4 破坏性试验

由于在进行有关性能测量中每一试样遭到破坏,因此,不可能直接测量任何试样的终点时间。应用 IEC 60216-3:2006 的 6.1.4 详细叙述的数学方法,可以计算推测的终点时间。

该方法是建立在这样假设基础上,即在一个温度下老化的所有试样的老化速率都是相同的,因此能够从一连串试验过的试验组的性能平均值确定老化速率。选择老化曲线的近似线性范围(见图 3),并通过每一(时间、性能)点,绘制一条平行于平均老化曲线的线。该线与终点线的交点,给出所需要的终点时间的对数(见图 4)。

注:老化曲线是通过绘制性能值或其值的合适转换形式与暴露时间的对数关系曲线形成的。需要保证,回归线与时间轴的相交点给出的值,相同于由各条线相交的平均值。

该程序是按数学方法进行的并进行相应的统计检验。推导出的 y -值应用于 6.4 计算中(见 IEC 60216-3:2006 的 6.1.4)。

6.4 平均值和方差

6.4.1 完整数据

对一个温度组内的所有试样的终点时间是已知的非破坏性试验和检查试验, y 值的平均值 $\bar{y}$ 和方差 S^2 应分别按式(3)和式(4)计算:

$$\bar{y} = \sum y / n \quad \dots\dots\dots (3)$$

$$S^2 = \frac{|\sum y^2 - (\sum y)^2 / n|}{n - 1} \quad \dots\dots\dots (4)$$

式中:

n ——是温度组中 y 值的数量。

对破坏性试验,应该用同样的程序,把它应用于按 6.3 获得的 y 的推测值。

6.4.2 不完整(截尾)数据

对于非破坏性试验和检查试验,当一个温度组内,在所有试样达到终点之前老化已经终止时,平均值和方差评估应按 IEC 60216-3:2006 的 6.2.1.2 计算。

6.5 总平均值和方差及回归分析

y 值加权平均值和方差及 x 值加权平均值和二阶中心距,应按 IEC 60216-3:2006 的 6.2.2 计算。

耐热图和偏离线性度检验的斜率和截距的回归分析应按 IEC 60216-3:2006 的 6.3.2 计算。

6.6 统计检验和数据要求

6.6.1 概述

下述统计检验在 IEC 60216-3:2006 的 6.3 中作了详尽规定,在 IEC 60216-3:2006 的附录 A 和附录 B 作了概括说明。这些检验已用来检验那些可能使耐热特征参数推导无效的所有重要数据情况,以及用来决定一种无法满足统计要求的情况是否属于实际显著的。

在简化程序中以下试验所需的有限子集见 IEC 60216-8。

6.6.2 所有类型的数据

在应用统计检验之前,数据需要满足下列要求:

- 在最低试验温度下的终点时间的平均值不少于 5 000 h(或当温度指数规定的时间 τ 不是 20 000 h 时,应不少于 $\tau/4$);
- 温度指数与最低试验温度之间的差应不大于 25 K。

如果不符合这些条件中的任何一个,则不能报告 TI 值。为了进行有效计算,应在这样一个更低温度下,进行一个或几个新的试样组的老化并保证满足这些条件。

当一组数据满足上述要求时,统计的要求是温度指数(TI)与它的 95%下置信限(TC)之间的差(TI-TC)不大于 0.6 HIC。这个差取决于数据点的分散、回归分析中的线性度偏差、数据点的个数和外推程度。

本部分提出的一般计算程序以及 IEC 60216-3 中的细节是建立在 GB/T 21223.1—2015 中所陈述的原理的基础上的。这些原理可以简单地表示如下:

- 达到规定终点所需要的时间(终点时间)的对数平均值与热力学(绝对)温度倒数之间的关系是线性的;
- 终点时间的对数与线性关系的偏差值是呈正态分布的,其方差与老化温度无关。

对第一个假设是通过 Fisher 检验(F -检验)进行检验的。在这种检验中,从试验数据计算检验参数 F 并与表值 F_0 比较,如果 $F < F_0$,则线性假设可以接受并继续计算下去。如果 $F > F_0$,则按推论该假设予以拒绝,但由于在特殊情况下,可能检查的是一种无实际重要性的统计学上显著的非线性,所以在规定条件下,按修正过的方法(细节见 IEC 60216-3),计算可以继续下去。

选择 F_0 ,使得检验是在显著水平为 0.05 下进行,这意味着即使这种假设是对的,也还有 5% 的概率拒绝该假设(当正确时,有 95% 概率接受该假设)。

检验第二个假设,是通过 Bartlett 的 χ^2 检验。从数据计算检验参数 χ^2 并与表值 χ^2 比较。在显著水平 0.05 下,如果检验参数 χ^2 大于表值,则应报告 χ^2 值和从表中查到的相应概率 P 。

对破坏性试验(6.3.3),也要按 F -检验,检验性能值的线性度随终点附近时间变化(见 IEC 60216-3:2006 的 6.1.4.4)。

当数据的分散是 TI-TC 值处在 0.6 HIC~1.6 HIC 之间时,还是有可能报告一个调整过的 TIa 值而不是报告计算得到的 TI 值,使得报告的 TIa 值与按通常程序计算得到的 TI 的下置信限之间的差小于或等于 0.6 HIC(即 TI 值用 $TIa = TC + 0.6 \text{ HIC}$ 代替,见 IEC 60216-3:2006 的 7.3)。

已经制定出满足这些情况的计算程序和适当限制条件见 IEC 60216-3。在 IEC 60216-3:2006 附录 A 和附录 B 给出了说明这些程序和条件的操作流程图和判断表。

6.6.3 检查试验

对检查试验,把终点时间考虑为逐步走向失效的老化周期的中点。在第一个老化周期终点的失效不能予以接受。在这种情况下,要么重新开始新的组试验,它也许带有较短的周期时间;要么不计这个第一周期失效而把组的标称数减 1(例如,在数学计算过程中,应该把 21 温度组按 20 处理,见 IEC 60216-3:2006 的 6.1.3),在任何情况下,最好要仔细检查试样制备技术。

在所有情况下,老化应继续下去直至每一组内超过 1/2 试样未能通过检查试验。对所有组的数量未必都要求相等,或失效数未必都要求相等。

6.6.4 破坏性试验

按正常要求,在每一温度下,至少要选取三个(最好更多)老化组进行线性度检验,该检验最好是在 0.05 显著水平获得满足下进行(见 IEC 60216-3:2006 的图 2、图 3 及 6.1.4.4),而且这些老化组至少有一个平均值高于终点以及至少有一个平均值低于终点。在规定情况下,允许不满足这些条件(在 0.005 显著水平下,无论是小的外推或线性度检验可能是允许的,见 IEC 60216-3:2006 的 6.1.4.4)。

6.7 耐热图和耐热特征参数

计算相对于 20 000 h 终点时间[或者应用 IEC 60216-3:2006 的 6.3.3 中式(47)求取温度指数所选取的这样其他时间 τ_1]的温度 ϑ_1 。

按相同方法,计算相当于 10 000 h 终点时间的温度 ϑ_2 ,否则,就计算相当于 $\tau_1/2$ 终点时间的 ϑ_2 。 $(\vartheta_2 - \vartheta_1)$ 即是半差 HIC 的值。

计算相当于 1 000 h 终点时间的温度 ϑ_3 ,否则就计算相当于 $\tau_1/20$ 终点时间的温度 ϑ_3 。

应用 ϑ_1 点和 ϑ_3 点以及其相应时间,在耐热图纸上绘制耐热回归线。

应用 IEC 60216-3:2006 的 6.3.3 的式(46)~式(50),计算 20 000 h,1 000 h 时间(或按前面提到的参数选择)的温度指数评估值的下置信限,并且至少有五个中间过渡时间。把这些成对的时间-温度标绘在耐热图上,画出一条通过这些点的光滑曲线。

在同一图上,标绘出老化温度、终点时间(测得的或推测的)以及平均时间。

按 6.5(也见 IEC 60216-3:2006 的 7.2 和 7.3)计算,推导出耐热特征参数。

6.8 试验报告

试验报告应包括：

- 待评材料的说明,包括试样尺寸和任何条件处理;
- 所研究的性能,终点选择以及如果性能是用百分值表示的话,性能的初始值;
- 用于测定性能的试验方法(如 IEC 相关标准);
- 试验程序的任何有关信息,例如,老化环境;
- 各个试验温度及相应数据:对非破坏性试验,各个终点时间,性能随老化时间变化的图;对检查试验,老化周期数和持续时间、在各个周期中达到终点时间的试样数;对破坏性试验,老化时间和各个性能值,性能随老化时间变化的图;
- 耐热图;
- 按 6.2 规定形式报告的温度指数和半差;
- 如果 IEC 60216-3:2006 中 6.3.1 有要求, χ^2 和 $k-1$ 的值;
- 根据 IEC 60216-3:2006 中 5.1.2,任何第一周期的失效。

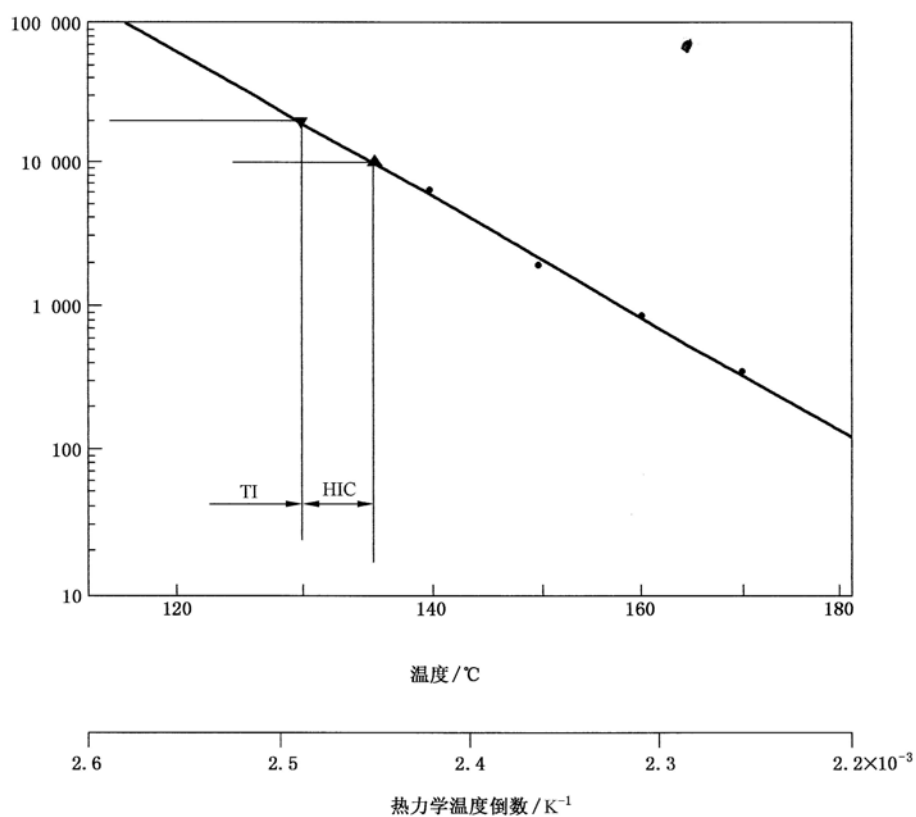
表 1 建议的曝露温度和时间

TI 的评估值 温度范围/℃	曝露温度/℃																																			
	方格内:曝露周期的持续时间/天																																			
	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240	250	260	270	280	290	300	310	320	330	340	360												
95~104	28		14		7		3		1																											
105~114		28		14		7		3		1																										
115~124			28		14		7		3		1																									
125~134				28		14		7		3		1																								
135~144					28		14		7		3		1																							
145~154						28		14		7		3		1																						
155~164							28		14		7		3		1																					
165~174								28		14		7		3		1																				
175~184									28		14		7		3		1																			
185~194										28		14		7		3		1																		
195~204											28		14		7		3		1																	
205~214												28		14		7		3		1																
215~224													28		14		7		3		1															
225~234														28		14		7		3		1														
235~244															28		14		7		3		1													
245~254																28		14		7		3		1												

更加详尽论述和推荐见附录 B。

注 1: 该表主要用于周期性的检查试验和非破坏性试验,但也可作为破坏性试验选择适合时间间隔的指导。在这种情况下,可能要求 56 天或更长的周期时间。

注 2: 当因为提交另外试样进行比原始计划中较低老化温度还要低的温度下老化而延长试验计划时,最好考虑以 10 K 温度间隔和 42 天周期持续时间进行 TI 测定。



说明:

▼——温度评估值, 20 000 h;

▲——温度评估值, 10 000 h。

图 1 耐热图

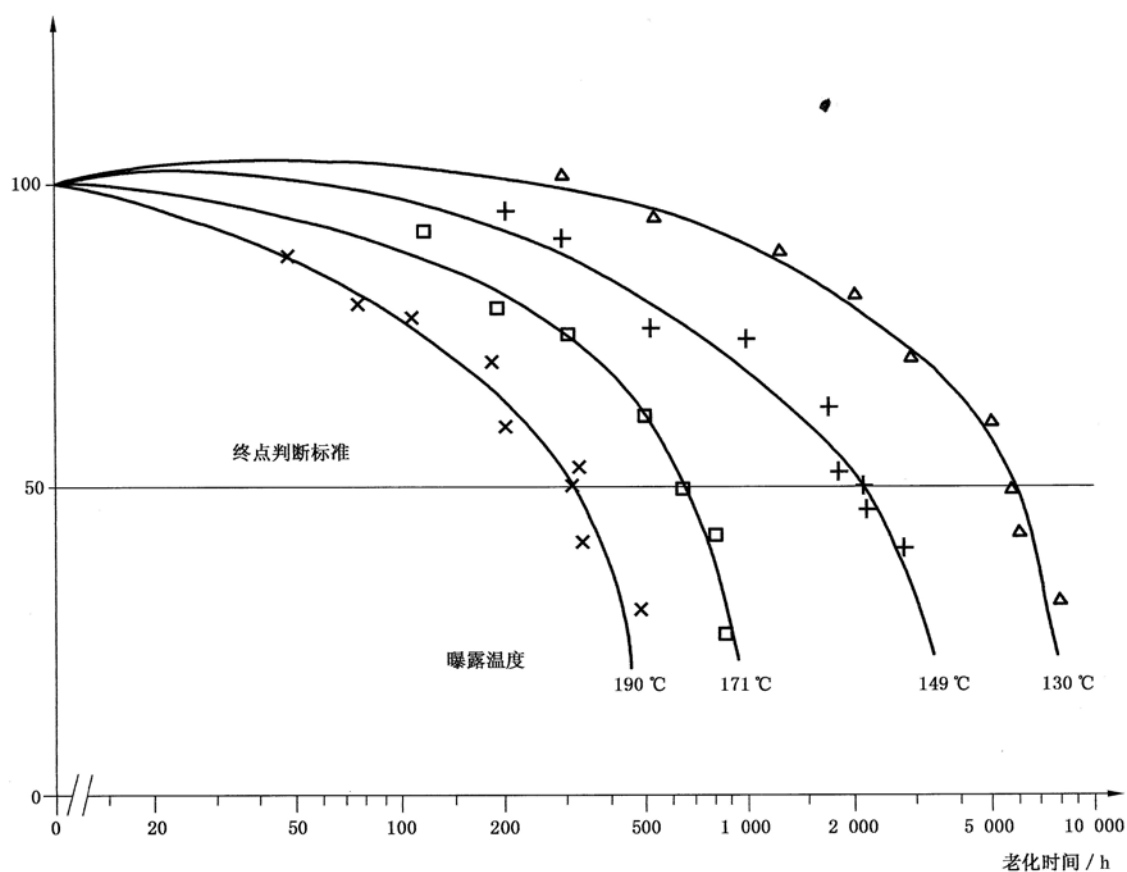
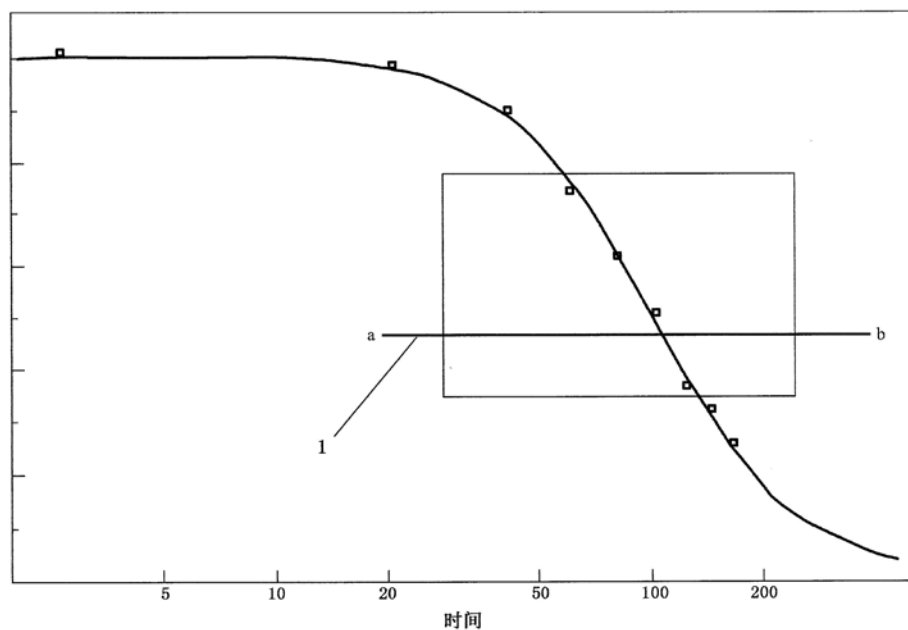


图 2 性能变化—每一温度下终点时间的确定
(破坏性试验和非破坏性试验)

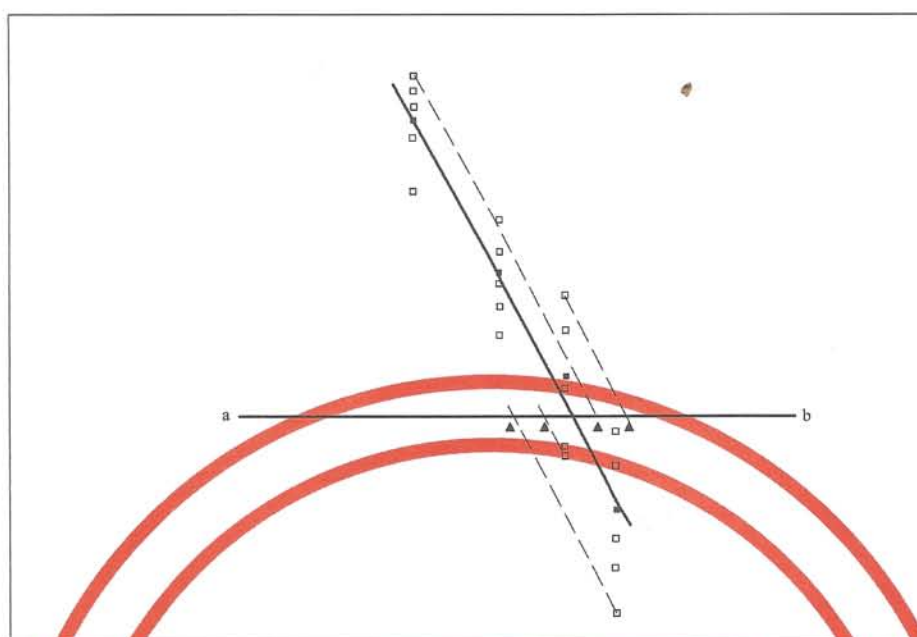


说明:

1——终点性能值。

注: 插入的矩形图的细节见图 4。

图 3 终点时间评估——性能值(纵坐标,任意单位)与时间关系
(横坐标,对数分度,任意单位)



说明:

- —— 数据点;
- —— 组的平均性能值;
- ▲ —— 指向终点时间评估的符号;
- a-b —— 终点的性能值;
- 回归线;
- —— 平行于回归线的评估线。

注: 为清晰起见, 评估线没有展示所有数据点。

图 4 破坏性试验——终点时间评估

附 录 A
(资料性附录)
分散性和非线性

A.1 数据分散性

IEC 60216-3 中详细叙述了数据分散性可接受的一些检验。

若由于不恰当的试验技术而引起的数据分散性大,则可通过应用较大量数据,即更多试样,来克服这种分散性带来的影响。这并非意味着要做一种完全重复的试验工作,因为有可能(如果材料可得到的话)试验另外试样并把这些附加到原始数据中去。这些另外试验可以在较低或居中温度下进行,但通常最好不是在高于原来选择的温度下进行。

在具有不完整数据(按中值检查过的)的检查试验中,有可能采取连续曝露直至另外试样通不过检查试验,以获得数据组数目的足够增加。

置信限的大小大致正比于数据总个数倒数的平方根。

A.2 非线性

A.2.1 热分解机理

按本部分进行的电气绝缘材料耐热试验的模式是基于热引发化学速率过程的理论的应用。当所选择的诊断性能的终点与承受老化试验的材料中的分子变化某一特定程度有关时,该模式才是适用。因此,该模式的适用性并不一定要求诊断性能水平和分子变化程度之间存在严格的线性关系。

除了上述基本假设外,还须满足某些有关热老化化学机理的一般假设:

- a) 材料及其组合在宏观物理意义上应是均匀的;
- b) 热降解应是在均相中进行的;
- c) 老化反应本质上应是不可逆的。

A.2.2 数据组的非线性

在数据评定中,当数据分散性对结果的置信区间而言是非常大而且又超出可接受的置信限的同时,数据的非线性是通过数据评定中的 F -检验失效来指明的(见 IEC 60216-3:2006 中 6.3)。这可能是由于不恰当的实验技术而引起的(例如,烘箱温度的误差);这样的非线性可以通过进一步试验而予以纠正。然而,在许多情况下,这种偏差是由材料老化行为而引起的;这种意外,偶然发生于许多热塑性材料或其他材料,这些材料的老化温度范围包括了或接近于某种类型的转变温度,或这些材料存在着一个以上的起作用的老化机理。

在这种情况下,通过在更低温度下的进一步试验,也许可能得到一个可接受的结果。这将引起减少外推的结果,而外推是影响确定置信区间大小因素之一,也使得与非线性有关的误差不那么严重。

另外,通过去除最高温度下的结果而在某一较低温度下进行了另外试验,也可能得到可接受的结果,因为只有在较高温度下,偏差才变得显著。

如果这些办法还不能获得成功,则需要在某一不要求外推的、足够低的温度下进行试验。

附 录 B
(资料性附录)
曝露时间和温度

B.1 概述

表 1 是供计划进行耐热试验时选择老化温度和周期持续时间用的。表 1 中的行是与所评估的 TI 相对应,它表示在烘箱温度下,建议的老化时间(天),烘箱温度列在相应栏的顶部。可以根据老化试验的初期结果,调节老化周期或外加老化温度。

最好要区分下述情况:

- a) 周期老化和连续老化;
- b) 确定劣化程度的破坏性、非破坏性和检查试验。

下述的推荐和建议可能有助于确定老化温度和时间。

B.2 温度

最高曝露温度应是能得到一个中值终点时间是在 100 h 和 500 h 之间的温度(见 5.5)。

如果期望在试验的整个温度范围产生相同的老化机理,则选择的曝露温度最好是相等间隔、通常为 20 K(见表 1)。如果这个准则导致机理变化,例如,当某一转变点,像熔点或软化点,则最高曝露温度将需要予以限制。在这种情况下,或如果 HIC 值已知或预期小于 10 K,则老化温度水平之间的差可能需要减少,但不小于 10 K(以便烘箱温度偏差影响可以接受)。

选择曝露温度涉及到事先预测或了解待评材料的温度指数的近似值。如果不能得到这个信息,可能需要进行初步筛选试验以便得到一个温度指数的预测值。

B.3 时间

B.3.1 周期老化

对检查试验和非破坏性试验,需要把曝露于所选择温度下的各(温度)组之间因不同操作、试验和热周期而引起的误差减少到最低程度。为此,选取周期持续时间应使得平均或中值终点时间大约是在 10 个周期但不少于 7 个周期内达到。

对非破坏性试验,尽管表 1 建议的是恒定周期持续时间,但可以使用按几何级数的试验时间。

B.3.2 连续老化

对破坏性试验,每一试验组的老化是连续的,因此,不同老化温度下,不一定要在表 1 给出的大致相等倍数的周期持续时间内达到平均终点时间,然而,每一温度下计划的试样的组数(见 5.3)最好至少为五组,如有可能最好为十组。各组试验之间的时间间隔最好这样安排,使得最少有两组试样测试的结果落在平均终点时间之前,至少有一组试样的测试结果落在平均终点失效时间之后,在该间隔内,性能随时间变化的速率最好呈现较好的线性关系,见 6.3.3 和 IEC 60216-3:2006。

B.4 延迟的试样组

当试验未知材料时,可以证明采用这种顺序程序是正确的。在这种情况下,通常方便的做法是,开始时,把一半制备好的试样放入烘箱,在推荐系列的第二或第三曝露周期之后进行测量。再经几个周期后,把剩余的试样放入烘箱,并测量老化曲线(性能变化曲线)上那些被认为需要的点(见图 2、图 3 和图 4)。

在评价设想的准确度需要添加试样进行老化的场合,也证明采用顺序程序是正确的。例如,当耐热关系原来是非线性的场合。如果在试验计划完成之后才决定采取延长原始计划,那么,整个程序的持续时间可能需要长至令人无法接受。替代的方法是,在原始计划的最低老化温度下的第一个或第二个失效之后,可以初步地评估耐热关系的趋势。如果怀疑有非线性,那么,可以在更低温度下,立即着手对一组或两组另外添加的试样进行老化,以便在还可以接受的时间范围内得到完整的试验数据。

一种几经证明是非常有用的程序是包括延迟投放表 B.1 中按顺序排列的试验组。

该示例是建立在九个试验组的基础上,这此试验组是曝露在一个温度下,分别标为 A、B、C、D、E、F、G、H 和 I。

在顺序开始之时,把五个试验组放入烘箱。经顺序延迟后(见表 B.1,下面的脚注 a),再添加另外的三个组。

按表 B.1 中的指示,试验这些组。

表 B.1 试验组

周期开始	被加到老化烘箱的试验组	从烘箱和试验组取出
1	B C D E F	A(未老化过的)
2 ^a	G	
3 ^a	H	
4 ^a	I	
5		B
9		C
13		D
17		E
21		F
^a 表示在时间等于条件处理时间和试验一组花费时间的总和时的周期开始后的延迟。		

如果 F 组试验之后,还未达到终点,则经进一步相应老化之后,可以试验 G 组~I 组。

如果在 B 组~F 组内之一达到终点,立即从烘箱中取出 G 组~I 组并经条件处理后进行试验。如果,例如 C 组已经达到了终点(几个周期),则 G 组、H 组和 I 组分别在 6,7 和 8 试验周期下将达到终点。按这个方法,将减少试验的总量而不降低鉴别能力。

这些值完全作为示例,可以根据工作要求予以改变。

附 录 C
(资料性附录)
早期版本中的一些概念

C.1 相对温度指数(RTI)

在 IEC 60216-1:1990 中,相对温度指数的定义如下:

“在某一对比试验中,当待评材料和参照材料经受相同的老化和诊断程序时,从对应于某一参照材料的已知温度指数获得的待评材料的温度指数(见图 4)”。

在获得 RTI 中,从测定 TI 中观察到的系统误差在很大程度上得到纠正。现在已把该特征参数作为一个新的单独标准课题(正在制定中)。

注 1: IEC 60216-1:1990(第四版)中的图 3,现展示于图 C.1。

注 2: 严格地说上述定义与图是不一致的,也与 IEC 60216-1:1974(第二版)中的定义略有差别。

C.2 耐热概貌(TEP)

耐热概貌是在 IEC 60216-1:1974 中提出的,定义如下:

“耐热概貌由两个数字组成,它们相当于从耐热图上在 20 000 h 和 5 000 h 时推导出的两个摄氏温度,其后跟着一个相对于 5 000 h 时温度的下 95%单侧置信限。”

为了能直接用半差来说明而不引起混乱,以及由于感觉到下置信限对某种材料而言不是一种很有用的特性,因此,在 IEC 60216-1 的第四版中把耐热概貌删除掉。感到更重要的是能保证计算的 TI 与其下置信限之间的差是小于某一规定值。

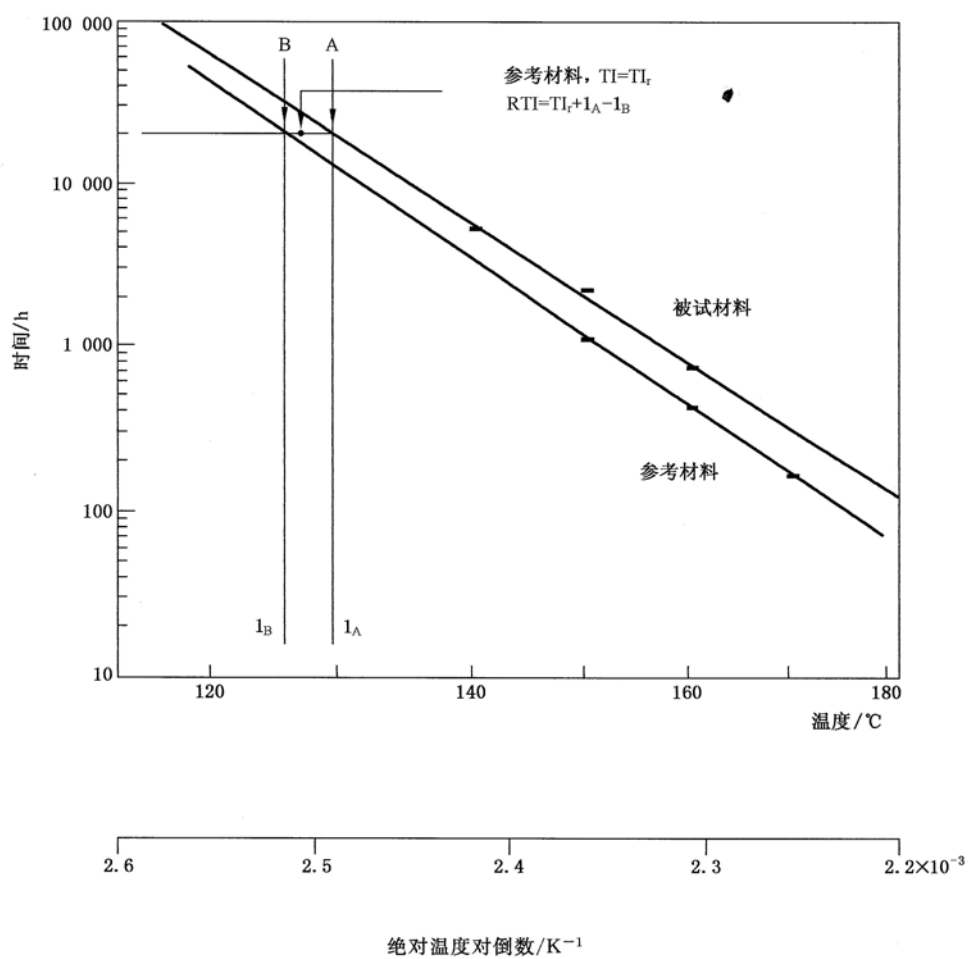


图 C.1 相对温度指数

参 考 文 献

- [1] GB/T 2900.5—2013 电工术语 绝缘固体、液体和气体
 - [2] IEC 60216-1:1974 Guide for the determination of thermal endurance properties of electrical insulating materials—Part 1: General procedures for the determination of thermal endurance properties, temperature indices and thermal endurance profiles(withdrawn)
 - [3] ISO 291 Plastics—Standard atmospheres for conditioning and testing
 - [4] ISO 2578:1993 Plastics—Determination of time-temperature limits after prolonged exposure to heat
 - [5] ISO 11346 Rubber, vulcanized or thermoplastic—Estimation of life-time and maximum temperature of use
-

中 华 人 民 共 和 国

国 家 标 准

电气绝缘材料 耐热性

第 1 部分:老化程序和试验结果的评定

GB/T 11026.1—2016/IEC 60216-1:2013

*

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.net.cn

总编室:(010)68533533 发行中心:(010)51780238

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 1.75 字数 46 千字

2016 年 12 月第一版 2016 年 12 月第一次印刷

*

书号: 155066·1-55429 定价 27.00 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 11026.1-2016