

ICS 29.060.20
K 13
备案号: 21277-2007

DL

中华人民共和国电力行业标准

DL/T 1070 — 2007

中压交联电缆抗水树性能鉴定试验 方 法 和 要 求

Qualification test methods and requirements for tree retardant
performance of medium voltage XLPE power cables

2007-07-20 发布

2007-12-01 实施

中华人民共和国国家发展和改革委员会 发 布

目 次

前言	· II
1 范围	· 1
2 规范性引用文件	· 1
3 术语和定义	· 1
4 总则	· 2
4.1 概述	· 2
4.2 试样和鉴定试验的有效范围	· 2
4.3 缆芯材料的鉴定要求	· 2
4.4 制造工艺的鉴定要求	· 3
5 试验项目、方法和要求	· 3
5.1 试验项目和试验流程	· 3
5.2 交流逐级击穿试验	· 3
5.3 热冲击逐级击穿试验	· 5
5.4 14d 负荷循环	· 5
5.5 加速水树老化试验	· 6
5.6 电气测量	· 9
5.7 结构检查	· 9
5.8 水树的检查和计数	· 10
附录 A（资料性附录） 电缆试样的补充要求	· 11

前 言

本标准是根据《国家发展改革委办公厅关于印发 2006 年行业标准项目计划的通知》(发改办工业[2006] 1093 号文)的安排制定的。

本标准技术内容大部分是采用美国绝缘电缆工程师学会 ICEA S-94-649: 2004《额定电压 5kV~46kV 铜丝屏蔽电缆》标准中的第 10.1 条和国网武汉高压研究院科研成果。本标准与 GB/T 12706.2—2002《额定电压 1kV ($U_m=1.2kV$) 到 35kV ($U_m=40.5kV$) 挤包绝缘电力电缆及附件 第 2 部分: 额定电压 6kV ($U_m=7.2kV$) 到 30kV ($U_m=36kV$) 电缆》和 GB/T 12706.3—2002《额定电压 1kV ($U_m=1.2kV$) 到 35kV ($U_m=40.5kV$) 挤包绝缘电力电缆及附件 第 3 部分: 额定电压 35kV ($U_m=40.5kV$) 电缆》联合使用。

承蒙美国绝缘电缆工程师协会 (ICEA) 史蒂文·坎贝尔 (Steven Campbell) 先生书面允许采用 ICEA S-94-649: 2004 标准中的相关内容, 在此表示感谢!

本标准的附录 A 为资料性附录。

本标准由中国电力企业联合会提出。

本标准由电力行业电力电缆标准化技术委员会归口并解释。

本标准起草单位: 国网武汉高压研究院、上海市电力公司、广东电网公司广州供电局、上海华普电缆有限公司。

本标准主要起草人: 阎孟昆、杨黎明、张丽、王晓兵、周雁。

本标准在执行过程中的意见或建议反馈至中国电力企业联合会标准化中心 (北京市白广路二条一号, 100761)。

中压交联电缆抗水树性能鉴定试验方法和要求

1 范围

本标准规定了符合 GB/T 12706.2 和 GB/T 12706.3 要求的额定电压 6kV~35kV 中压交联聚乙烯绝缘电力电缆抗水树性能鉴定试验方法和要求。

本标准只适用于交联聚乙烯绝缘电力电缆的缆芯材料抗水树性能的鉴定，而对其他性能则按相关的产品标准规定。

2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改单（不包括勘误的内容）或修订版均不适用于本标准，然而，鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本标准。

GB/T 2951.1 电缆绝缘护套材料通用试验方法 第 1 部分：通用试验方法 第 1 节：厚度和外形尺寸测量——机械性能试验（idt IEC 60811-1-1：1993）

GB/T 3048.12 电线电缆电性能试验方法 局部放电试验（neq IEC 60885-3：1988）

GB/T 12706.2—2002 额定电压 1kV ($U_m=1.2kV$) 到 35kV ($U_m=40.5kV$) 挤包绝缘电力电缆及附件 第 2 部分：额定电压 6kV ($U_m=7.2kV$) 到 30kV ($U_m=36kV$) 电缆（eqv IEC 60502-2：1997）

GB/T 12706.3—2002 额定电压 1kV ($U_m=1.2kV$) 到 35kV ($U_m=40.5kV$) 挤包绝缘电力电缆及附件 第 3 部分：额定电压 35kV ($U_m=40.5kV$) 电缆（eqv IEC 60502-2：1997）

GB/T 16927.1 高电压试验技术 第 1 部分：一般试验要求（neq IEC 60060-1：1989）

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本标准。

3.1

鉴定试验 qualification test

用以验证所期望性能特性的高质量电缆用原材料性能的试验。

3.2

水树 water tree

在绝缘中存在水分、电应力和某些诱发因素如杂质、突起、空间电荷或离子时发展成的一些微通道。

3.3

管状水树 vented tree

从绝缘屏蔽层或导体屏蔽层开始发展起来的水树。

3.4

领结状水树 bowtie tree

由绝缘层中的杂质或其他缺陷处开始以直径方向向绝缘屏蔽和导体屏蔽发展的水树。

3.5

抗水树交联聚乙烯绝缘 tree retardant XLPE insulation

含有能延缓绝缘中水树发展和生长的添加剂、聚合物改性剂或填料的交联聚乙烯绝缘。

3.6

缆芯 cable core

电缆中包含导体、导体屏蔽、绝缘和绝缘屏蔽的组件。

3.7

有效长度 active length

电缆试样中被绝缘屏蔽和金属屏蔽覆盖的长度。

4 总则

4.1 概述

本标准仅对缆芯材料（导体屏蔽、绝缘和绝缘屏蔽）的抗水树性能进行鉴定，其他性能应符合 GB/T 12706.2 和 GB/T 12706.3 的规定。

4.2 试样和鉴定试验的有效范围

除非另有说明，鉴定试验用的试样应是从符合 GB/T 12706.2 规定的，额定电压为 8.7/10kV 或 8.7/15kV、截面为 50mm² 紧压铜绞合圆导体、交联聚乙烯绝缘电力电缆中取出的缆芯，如在缆芯外有同心导体时应予以保留。此外，对试样的补充要求参见附录 A。试样通过鉴定试验后，可以认为对 6kV~35kV 电缆的所有截面的缆芯均有效。从电场应力作用来看，鉴定试验用电缆可以代表其他电压等级和截面的电缆，只要绝缘材料和半导体屏蔽料的配方没有改变，缆芯材料鉴定试验报告和制造工艺试验报告持续有效。

4.3 缆芯材料的鉴定要求

导体屏蔽和绝缘及绝缘和绝缘屏蔽材料的组合是否符合鉴定要求，可以在一根电缆或在两根不同电缆的试样上进行相关的试验后予以验证。如果任意一种绝缘料或屏蔽料发生改变（混合料名称或牌号的改变），则相关的试验必须重新进行。

对缆芯绝缘料或屏蔽料的处理方式或挤出性能作了改进，从而这些混合料名称有了一些更改（例如，某一混合料由 A 型变为 B 型）后，应按 4.4 “制造工艺的鉴定要求”予以鉴定。

导体屏蔽料、绝缘料和绝缘屏蔽料的型号和商标应在鉴定报告中给出。

4.3.1 导体屏蔽和绝缘的组合

导体屏蔽和绝缘的组合在 360d 的加速水树老化之前和之后应经受图 1 所示试验流程中的各相关试验，并符合试验要求。本试验可以只进行一次，电缆制造商可以利用有效的鉴定试验报告证明其使用的导体屏蔽和绝缘料符合对导体屏蔽和绝缘料组合的鉴定试验要求。只要是采用通常制造工艺的商品化的连续交联生产线都可用以生产试验用的电缆，而不一定是生产 4.3.2 中绝缘和绝缘屏蔽组合的试验用电缆的同一生产线。

导体屏蔽料是保证电缆能符合抗水树性能指标的重要基础。半导体导体屏蔽料炭黑中的水溶性离子含量是引起并决定电缆绝缘层内水树生长的关键因素，其最大允许含量参见附录 A 的 A.3.3。

所有的试验结果应在鉴定报告中给出。

4.3.2 绝缘和绝缘屏蔽的组合

绝缘和绝缘屏蔽的组合在 180d 的加速水树老化之前和之后应经受图 1 所示试验流程中的各相关试验，并符合试验要求。本试验可以只进行一次，电缆制造商可以利用有效的鉴定试验报告证明其使用的绝缘和绝缘屏蔽料符合对绝缘和绝缘屏蔽组合的鉴定试验要求。只要是采用通常制造工艺的商品化的连续交联生产线都可用以生产试验用的电缆，而不一定是生产 4.3.1 中导体屏蔽和绝缘组合的试验用电缆的同一生产线。

所有的试验结果应在鉴定报告中给出。

4.4 制造工艺的鉴定要求

4.4.1 概述

当一组缆芯的界面一旦符合材料鉴定的要求后，除制造用于上述材料鉴定用电缆的制造商外，其他电缆制造商都必须进行下述制造工艺鉴定试验。

对导体屏蔽和绝缘的组合及绝缘和绝缘屏蔽的组合，可在一根电缆或两根不同的电缆试样上进行相关的试验，鉴定其是否符合要求。如果任意一种绝缘料或屏蔽料发生改变（混合料名称或牌号的改变），相应的试验项目必须重新进行。

对缆芯绝缘料或屏蔽料的处理方式或挤出性能作了改进，从而这些混合料名称有了一些更改（例如，某一混合料由 A 型改变为 B 型）后，并不要求对这些混合料按 4.3 “对缆芯材料的鉴定要求”重新鉴定，但每一制造商必须按下述 4.4.2 和 4.4.3 对这些混合料重新鉴定。

导体屏蔽料、绝缘料和绝缘屏蔽料的型号和商标应在鉴定报告中给出。

4.4.2 导体屏蔽和绝缘的组合

所有的导体屏蔽和绝缘的组合在 180d 的加速水树老化之前和之后应经受图 1 所示试验流程中各相关试验，并符合要求。希望对电缆作鉴定的制造商必须使用自己的合格的连续交联生产线制造试验用的电缆，但不一定要使用制造绝缘和绝缘屏蔽组合的试验用电缆的同一生产线。

包括那些作为材料鉴定中的一个部分已试项目的结果在内的所有试验结果都应在鉴定报告中给出。

4.4.3 绝缘和绝缘屏蔽的组合

所有的绝缘和绝缘屏蔽的组合必须进行图 1 所示鉴定试验流程中的试验 1～试验 4。电缆制造商应使用自己的合格的连续交联生产线制造试验用的电缆，但不一定要使用制造导体屏蔽和绝缘的组合试验用电缆的同一生产线。

包括那些作为材料鉴定中一个部分的已试项目的结果在内的所有试验结果，都应在鉴定报告中给出。

5 试验项目、方法和要求

5.1 试验项目和试验流程

鉴定试验的项目和鉴定试验的流程见图 1。

5.2 交流逐级击穿试验

5.2.1 概述

为了考核试样在 14d 负荷循环前后以及加速水树老化后的工频击穿性能，应对电缆试样进行交流逐级击穿试验（图 1 中的试验 1、试验 3、试验 5、试验 6 和试验 7）。

5.2.2 试验方法

交流逐级击穿试验应在图 1 中试样 1～试样 3、试样 7～试样 9、试样 13～试样 15、试样 16～试样 18 和试样 19～试样 21（试验 1、试验 3、试验 5、试验 6 和试验 7）上进行。试验电压的频率为 49Hz～61Hz，试验应在室温下进行。起始试验电压值 18kV，按照 GB/T 16927.1 规定的条件施加在导体与绝缘屏蔽之间，并且保持 5min。然后试验电压按 7kV 为一级，每级保持 5min 逐级升压，直至电缆试样击穿。

本试验的试验报告应给出下列数据：

- a) 最接近击穿点的绝缘厚度实测值，mm；
- b) 击穿电压除以最接近击穿点的绝缘厚度而得的击穿场强，kV/mm；
- c) 能耐受 5min 而不击穿的最大耐受电压梯级除以最接近击穿点的绝缘厚度而得的最大耐受场强，kV/mm。

如果试样在从一个电压梯级正在向下一个电压梯级的升压过程中发生击穿，除了上述 b) 项的击穿场强和 c) 项的最大耐受场强都要写在鉴定报告中外，还应在鉴定报告中指出该电缆试样是在试验电压从一个电压梯级向下一电压梯级过渡时击穿的。

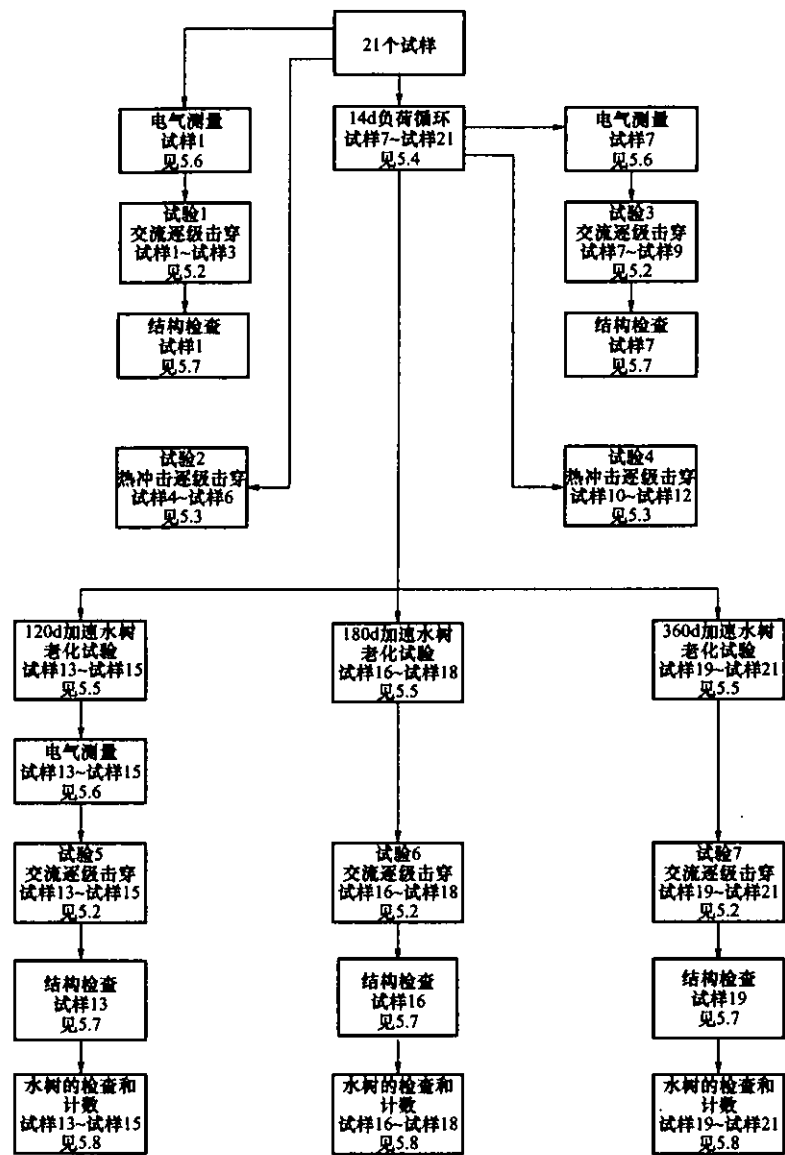


图 1 鉴定试验项目和流程

当试样从加速水树试验结束并从试验装置中取出后，必须在 24h 内进行交流逐级击穿试验。在进行试验前，不应将导体中的水排出。如果试验不能在加速水树老化试验结束后的 24h 之内进行，则试样必须保存在具有和加速水树老化试验过程中所用同样性质的水中，直到交流逐级击穿可以进行。如果交流逐级击穿试验不能在加速水树老化试验结束后的 48h 之内进行，应当在报告中写明停留等待的时间。

在加速水树老化试验之前的交流逐级击穿试验的试样应有 $6.1\text{m} \pm 1.8\text{m}$ 的有效长度。在加速水树老化试验之后的交流逐级击穿试验的电缆试样的有效长度，应由一根电缆的一个在水中老化过的部分和至少二个已在空气中老化的部分组成。电缆试样在水中老化部分的长度应为 $4.9\text{m} \pm 0.9\text{m}$ ，在空气中老化的每个部分的长度应为 $0.3\text{m} \sim 1.8\text{m}$ ，电缆试样的两端还应留有制作交流逐级击穿试验用高压终端所需的长度。

以图解表示的试样如图 2 所示。

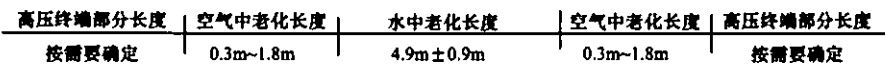


图 2 以图解表示的试样

如果击穿发生在电缆试样的有效长度之外，并且电压梯级尚未达到 195kV，则应对该试样重新安装终端后复试。重新安装终端后复试只应进行一次。如果在复试中仍然在有效长度之外击穿，则将这两个击穿电压值中的较高值写入报告，并说明是终端击穿。

在终端故障后复试时，施加的电压值从 18kV 开始，并保持 30s。然后每级升高 7kV，并保持 30s，直到电压升至上次试验终端击穿时的梯级电压，在这个梯级电压保持 5min，然后按照 7kV 为一级，每级保持 5min，逐级升高电压直至电缆试样击穿。在报告中必须指出，本次试验曾经在有效长度以外发生终端击穿，以及重新安装终端进行复试的电缆试样的有效长度。

5.2.3 要求

图 1 中所示的交流逐级击穿试验 1、试验 3、试验 5、试验 6 和试验 7 中的每个试样按 5.2.2c) 得出的最大耐受场强不应小于表 1 中给出的最小交流耐受值。

表 1 最小交流耐受值

kV/mm

14d 负荷循环前 试验 1	14d 负荷循环后 试验 3	120d 加速水树老化试验后 试验 5	180d 加速水树老化试验后 试验 6	360d 加速水树老化试验后 试验 7
24.4	26.0	26.0	22.8	20.0

5.3 热冲击逐级击穿试验

5.3.1 概述

为了考核试样的冲击电压性能特性，应按照 5.3.2 的规定对试样 4~试样 6 和试样 10~试样 12 进行图 1 所示的试验 2 和试验 4，即高温下冲击逐级击穿试验。

5.3.2 试验方法

电缆试样的有效长度应为 $2.7\text{m} \pm 0.3\text{m}$ 。进行高温下冲击逐级击穿试验时，试样应放在一根标称内径 75mm、长度 1.8m 水平放置的聚乙烯或聚氯乙烯电缆导管中。导管的两端应密封以防止空气流通。

进行高温下冲击逐级击穿试验时，导体温度应当在 $95^{\circ}\text{C} \sim 100^{\circ}\text{C}$ 范围内。采用在导体中通电流而在金属屏蔽中不通电流的方法使导体达到所需的温度。

试验时应首先以峰值为 110kV 的冲击电压对试样进行 10 次正极性冲击，然后进行 10 次负极性冲击。在第一次冲击之前和更换极性之后，对试样进行极性适应处理。最后一次 110kV 负极性冲击之后，保持极性不变，再以 26kV 为一级逐级升高电压，在每个电压等级下进行三次负极性冲击，直至电缆试样在终端之外发生击穿。能耐受三次负极性冲击而不击穿的最大耐受冲击电压除以最接近击穿点的绝缘厚度作为电缆试样的最大冲击耐受值，单位 kV/mm。

5.3.3 要求

应测量最接近击穿点的绝缘厚度，并写在鉴定试验报告中。

如果击穿发生在试样的有效长度之外，则应将此击穿电压值写在报告中并说明本次击穿是发生在试样的有效长度之外。

电缆试样的最小冲击耐受值应为 47.6kV/mm。

5.4 14d 负荷循环

5.4.1 概述

14d 负荷循环是为了对图 1 中试验 3~试验 7 的试样进行热条件处理（用以除去新生产的电缆中大部分挥发性物质）。对试验 1 和试验 2 的电缆试样不进行 14d 负荷循环。从电缆绝缘被挤包完毕到开始作负荷循环之间应至少间隔 7d。缆芯挤出的日期和负荷循环开始的日期必须写在鉴定报告中。

5.4.2 试样长度

应能为图 1 中的试验 3~试验 7 提供足够数量的经过热条件处理的试样。

5.4.3 试样制备

如果电缆试样上有外护套,应在 14d 负荷循环之前剥除,负荷循环只能在无护套的电缆试样上进行。

5.4.4 电缆导管

电缆试样应安装在标称内径为 75mm 的聚乙烯或聚氯乙烯电缆导管中,导管的两端应密封以防止空气流通。导管可以是平滑的也可以是波纹状的。应当采用在导体中通电流而在金属屏蔽中不通电流的方法升高导体的温度。

5.4.5 负荷循环

电缆试样应经受 14 次热负荷循环。每次循环为 24h,其中头 8h 通电流加热,其余 16h 切断电流自然冷却。在通电流加热期间的最后 4h 内,在导管内的电缆试样的导体温度应达到 95℃~100℃。在切断电流自然冷却期,电缆试样导体温度应降至距环境温度不超过 5℃的范围内。在负荷循环期对电缆试样不施加电压。在进行负荷循环之前,应在以与试样完全相同的方式进行负荷循环的“模拟”电缆的导体上安装热电偶确定温度与加热电流之间的关系曲线。

5.5 加速水树老化试验

5.5.1 概述

本试验使用 5.4 中所述的经过热条件处理的电缆作为试样。每根电缆试样应放在标称内径为 75mm 的聚乙烯或聚氯乙烯导管中,在试验电压下进行加速老化。在老化过程中,电缆试样导体中的间隙和导管中都应注满自来水。电缆试样还应通过感应电流的加热方式进行负荷循环。

5.5.2 要老化的电缆数量

应根据 5.5.6 要求,对足够数量的电缆作加速水树老化试验,为图 1 所示试验 5~试验 7 提供试样。加速水树老化试验可以在各个单独的电缆试样上进行,也可以在一条整根电缆上进行,然后再把这一条整根电缆切割成各个单独试样。

5.5.3 老化时间

对三个试样作 120d 加速水树老化试验,然后进行试验 5 系列所要求的各项试验;对三个试样作 180d 加速水树老化试验,然后进行试验 6 系列所要求的各项试验;再对三个试样作 360d 加速水树老化试验,然后进行试验 7 系列所要求的各项试验。

5.5.4 导管装置

导管装置应由一根水平安装的内径为 75mm 的聚乙烯或聚氯乙烯导管组成。为了在导管中保存水,导管的末端各连接一小段弯管,弯管的弯曲半径和角度根据试验室的情况而定,但是其弯曲半径必须足够大以防止电缆的弯曲半径小于其允许的最小值。如有需要,还可以在弯管的顶端连接一段短管,以保证电缆试样安装在水中的部分有足够的长度。典型的导管装置见图 3。多根导管并排安装时,导管之间必须保证最小 26mm 的间隔。对多根导管装置也可以作上下多层布置,但必须测量每一层导管中电缆试样的温度与时间关系曲线,并且这些曲线能表明在上层导管中电缆的温度不受下层导管中电缆温度的影响。当采用这种垂直多层布置的导管装置时,在各导管之间应留有至少 26mm 的净距。在整个老化试验过程中,自来水的液面距导管顶端的距离在任何时候应不大于 100mm。

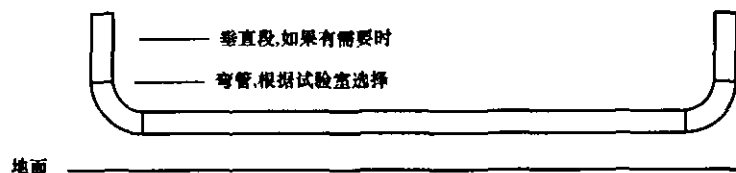


图 3 导管装置

5.5.4.1 导管装置上面的构筑物

如果可以证明不会影响到电缆试样的规定温度,可以在导管装置上面安装诸如平台、人行通道等构

筑物。

5.5.4.2 导管装置的尺寸

导管装置的结构应确保能使经过加速水树老化试验后的每个试样都符合交流逐级击穿试验所要求的长度。

5.5.5 水

应采用自来水注入电缆试样导体中的间隙和导管中。在整个试验过程中，导管内自来水的水面距导管顶部的距离应不大于 100mm。在整个试验过程中自来水也应保留在导体的间隙之中。每次试验开始之前应当清空导管中的水并对导管进行清洗，以便于下次用新鲜水开始试验。

5.5.6 试验方法

5.5.6.1 环境温度

试验时的环境温度应为室温。

5.5.6.2 试验电压

试验电压应为 $27\text{kV} \pm 1\text{kV}$ ，频率为 $49\text{Hz} \sim 61\text{Hz}$ 的正弦波交流电压。

5.5.6.3 模拟负荷循环

为确定 5.5.6.4 所述老化负荷循环每一周期内 24h 温度与时间关系的曲线，应将一根与要试验的电缆完全相同的模拟电缆安装在一根与将要在老化试验时所使用的完全相同的导管内。为监测试样的温度，应在模拟电缆的空气中导体、水中导体（导管中部 150mm 范围之内）和水中绝缘屏蔽（导管中部 150mm 范围之内）上安装热电偶。在模拟电缆导体上施加感应电流加热 8h，接着切除电流 16h 自然冷却（一个负荷循环的周期）。在模拟电缆上不施加电压。施加的电流值应足以使模拟电缆的水中绝缘屏蔽温度在通电流加热 8h 中的最后 1h 内达到 $45^\circ\text{C} \pm 3^\circ\text{C}$ 。为了使水中绝缘屏蔽的温度达到这个要求，可能需要使用绝热材料包绕在导管外部。同时，为使最外侧导管（导管两侧中只有一侧与其他装有同样带电电缆的导管相邻）达到所要求的温度与时间的关系，或许也需要绝热层。如果需要绝热层，那么在整个加速水树老化试验过程中，应把绝热层包绕在与模拟负荷循环时相同的位置。在通电流加热期结束后，水中绝缘屏蔽的温度应在 $10\text{h} \pm 1\text{h}$ 内冷却到环境温度。空气及水中的导体和水中绝缘屏蔽的几组 24h 负荷循环的温度与时间关系曲线应在鉴定试验报告中以曲线形式给出。电缆试样在 5.5.6.4 所述的老化负荷循环中，加速水树老化试样水中绝缘屏蔽的温度必须符合本条在模拟负荷循环中确定的水中绝缘屏蔽 24h 负荷循环的温度与时间关系曲线。

如果试验室内安装了不止一组导管装置，则必须确定每一组导管装置的温度分布。在多导管装置中，同样需要确定最外侧导管（导管两侧中只有一侧与其他装有同样带电电缆的导管相邻）的温度分布，以确认最外侧导管具有与中间部分导管相同的温度分布。

5.5.6.4 老化负荷循环

为确认电缆试样都达到正确的温度，应在导管中部 150mm 范围内的各个试样水中绝缘屏蔽上安装热电偶测温。在下述不同天数的负荷循环中，应当对电缆导体施加 8h 的感应电流加热和切断电流 16h 的自然冷却（一个负荷循环的周期）。在每个循环中，被试电缆水中绝缘屏蔽的温度必须符合由模拟负荷循环确定的水中绝缘屏蔽 24h 温度时间关系。一般地说，在整个老化试验中应采用由模拟循环所确定的加热电流值，但是如果试验设施的环境温度发生改变，则可能需要调节导体加热电流以保证电缆水中绝缘屏蔽温度达到 $45^\circ\text{C} \pm 3^\circ\text{C}$ ，达不到这一正确温度范围而且又不符合 5.5.6.5、5.5.6.6 和 5.5.6.7 中作为例外的负荷循环视为无效，不能计入老化时间。如果水中绝缘屏蔽的温度超过 48°C ，应在鉴定试验报告中指出发生这种情况的次数以及每次的最高温度。在整个老化试验期间，除了给导体或导管补充水以外，每周应连续施加电压 7d。为了监测施加电压的时间，需要采用一个累积计时器。施加电压的天数可以用施加在电缆试样上的试验电压的总小时数除以 24 得到。

5.5.6.5 120d 加速水树老化试样

120d 加速水树试样必须经受在规定电压下累计 120d 的老化。它们还必须在要求的时间和温度下经

过 86d 的热负荷循环。重复进行由连续 5d 的热负荷循环和紧接着连续 2d 的没有热负荷循环组成一个 7d 期的负荷循环。但是，当试验过程中发生中断时，这个 5d 和 2d 的顺序可以根据需要临时改变。如果这样，应将 86d 的热负荷循环根据实际情况分配在整个 120d 的老化期内。但是，不应有超过连续 8d 热循环的时段，也不应当有超过连续 4d 无热循环的时段。

如果试样在热循环周期内水中绝缘屏蔽的最高温度低于 5.5.6.4 中的规定，则该次热循环必须重新进行，但不超过 3 次的水中绝缘屏蔽的最高温度超过 35℃ 的热循环，可以作为例外，这种不超过 3 次的热循环可以被计入热循环次数。重新进行热循环时必须连续施加电压，因此，如果为了满足上述要求而需要重新进行热循环时，施加试验电压总时间可以超过 120d。这种情况发生时，在鉴定试验报告中应给出施加电压的实际总天数。

5.5.6.6 180d 加速水树老化试样

180d 加速水树试样必须经受在规定电压下累计 180d 的老化，它们还必须在要求的时间和温度下经过 129d 的热负荷循环。重复进行由连续 5d 的热负荷循环和紧接着连续 2d 的没有热负荷循环组成一个 7d 期的负荷循环。但是，当试验过程中发生中断时，这个 5d 和 2d 的顺序可以根据需要临时改变。如果这样，应将 129d 的热负荷循环根据实际情况分配在整个 180d 的老化期内。但是，不应有超过连续 8d 热循环的时段，也不应当有超过连续 4d 无热循环的时段。

如果试样在热循环周期内水中绝缘屏蔽的最高温度低于 5.5.6.4 中的规定，则该次热循环必须重新进行，但不超过 5 次的水中绝缘屏蔽的最高温度超过 35℃ 的热循环，可以作为例外，这种不超过 5 次的热循环可以被计入热循环次数。重新进行热循环时必须连续施加电压，因此，如果为了满足上述要求而需要重新进行热循环时，施加试验电压总时间可以超过 180d。这种情况发生时，在鉴定试验报告中应给出施加电压的实际总天数。

5.5.6.7 360d 加速水树老化试样

360d 加速水树试样必须经受在规定电压下累计 360d 的老化，它们还必须在要求的时间和温度下经过 257d 的热负荷循环。重复进行由连续 5d 的热负荷循环和紧接着连续 2d 的没有热负荷循环组成一个 7d 的负荷循环期。但是，当试验过程中发生中断时，这个 5d 和 2d 的顺序可以根据需要临时改变。如果这样，应将 257d 的热负荷循环根据实际情况分配在整个 360d 的老化期内。但是，不应有超过连续 8d 热循环的时段，也不应当有超过连续 4d 无热循环的时段。

如果试样在热循环周期内水中绝缘屏蔽的最高温度低于 5.5.6.4 中的规定，则该次热循环必须重新进行，但不超过 10 次的水中绝缘屏蔽的最高温度超过 35℃ 的热循环，可以作为例外，不超过 10 次的热循环可以被计入热循环次数。重新进行热循环时必须连续施加电压，因此，如果为了满足上述要求而需要重新进行热循环时，施加试验电压总时间可以超过 360d。这种情况发生时，在鉴定试验报告中应给出施加电压的实际总天数。

5.5.7 水的 pH 值

在加速水树老化的第 0d、120d、180d 和 360d 应测量导管中自来水的 pH 值，测量值应在鉴定报告中给出，仅作为工程参考资料。

5.5.8 加速水树老化后的交流逐级击穿试验的要求

交流逐级击穿试验也被规定为对试样经过 120d、180d 和 360d 加速老化处理后性能变化进行鉴定的图 1 中试验 5、试验 6 和试验 7 中系列试验之一，其可接受的最小耐受值应符合表 1 中相应的规定值。

任何发生在试样有效长度以外的击穿不能看作是电缆试样的击穿。这种击穿以及重新安装终端后的被试电缆的有效长度必须予以记录，并写在试验报告中。对被击穿的试样和击穿的位置必须作出标志。

5.5.9 复试

对于电缆试样在加速水树老化试验中击穿的这种偶然发生的情况或者对于在交流逐级击穿试验或热冲击逐级击穿试验中的击穿被证明是由于制造工艺缺陷（例如杂质、微孔、突起或导体屏蔽的不连续）所引起的这种情况，可以允许对电缆复试。为进行复试，应对有试样被击穿的那个试样组的全部三个试

样都要进行复试。

复试的三个试样应取自与原试样同一根的电缆，并在这些试样上进行全部项目的试验。如果这些复试的试样以及在加速水树老化试验中的其他试样均符合要求，那么，可以认为这种被试电缆的抗水树性能符合鉴定要求。

如果有两个或更多试样（包括复试试样中的任何一个）在加速水树老化试验期间击穿或不符合冲击逐级击穿试验或交流逐级击穿试验的要求，则该电缆的抗水树性能不符合鉴定要求。

5.6 电气测量

5.6.1 测量项目和要求

5.6.1.1 局部放电测量

局部放电应按 GB/T 3048.12 规定，在室温下进行测量。

应在电压 15kV 下测量局部放电量，其数值应不超过 5pC。

5.6.1.2 电容测量

在额定电压和室温下在电缆导体和绝缘屏蔽之间测量电容。根据测得的电容值和缆芯的结构尺寸计算出的绝缘层的介电常数不应大于 3.5。

5.6.1.3 介质损耗因数测量

在额定电压和室温下在电缆导体和绝缘屏蔽之间进行介质损耗因数测量。测量值对交联聚乙烯绝缘不应大于 0.001；对于抗水树交联聚乙烯绝缘不应大于 0.005。

5.6.2 测量结果的评定

局部放电、电容和介质损耗因数测量应在图 1 流程中所示的试样 1、试样 7、试样 13、试样 14 和试样 15 上进行。

对试样 1 的测量结果应符合上述规定的要求，并应写在鉴定试验报告中。如果不符合规定要求，则认为试样不合格，停止鉴定试验。对试样 7、试样 13、试样 14 和试样 15 的测量结果也应写在鉴定试验报告中，但不作考核仅作为工程参考资料。

5.7 结构检查

为监测缆芯结构尺寸和半导体绝缘屏蔽剥离力在老化过程中的变化，应进行下列检查。

5.7.1 尺寸检查

5.7.1.1 检查项目

按 GB/T 2951.1—1997 对电缆试样 1、试样 7、试样 13、试样 16 和试样 19 进行下列项目的检测：

- 半导体导体屏蔽层的最小厚度；
- 绝缘层平均厚度和最小厚度；
- 半导体绝缘屏蔽层最大和最小厚度。

5.7.1.2 要求

半导体导体屏蔽层的最小厚度应不小于 0.30mm；半导体绝缘屏蔽层的最大厚度应不大于 1.52mm，最小厚度不小于 0.76mm；绝缘层的平均厚度和最小厚度应符合 GB/T 12706.2 的规定。”

对试样 1 和试样 7 的测量结果应符合要求，并写在鉴定报告中；对试样 13、试样 16 和试样 19 的测量结果不作考核，写在鉴定报告中仅作为工程参考资料。

5.7.2 半导体绝缘屏蔽的剥离力

5.7.2.1 试样

当制造商采用的挤包半导体绝缘屏蔽为可剥离型时，应测量其剥离力。试样的制备应符合 GB/T 12706.2 中的规定。

5.7.2.2 要求

对试样 1 和试样 7 的测量结果应符合 GB/T 12706.2 的要求，并写在鉴定报告中；对试样 13、试样 16 和试样 19 的测量结果不作考核，写在鉴定报告中仅作为工程参考资料。

5.8 水树的检查和计数

5.8.1 概述

为更好地了解在加速老化试验条件下树枝生长和电缆性能之间的关系，要求对生长在经过三个不同老化期的加速水树老化试验的电缆试样绝缘中的水树进行检查和统计。检查和统计应在经过 120d 老化的三个交流逐级击穿试样（试样 13～试样 15），180d 老化的三个逐级击穿试样（试样 16～试样 18）和 360d 老化的三个逐级击穿（试样 19～试样 21）上进行，对水树的检查和计数结果仅作为工程参考用。

5.8.2 取样方法

每一期的加速水树老化后的交流逐级击穿试验完成后，立即在这三个试样上，在最接近击穿点处沿直径方向各切割厚度约 0.65mm 的同心圆状试片 10 个，共 30 个试片，三个老化期的总试片数为 90 个。

5.8.3 染色

为了强化对水树的检查，应对试片作染色处理。用乙醇清洗试片，将清洗后的试片再用清水冲洗干净，阴干后染色。将干燥的经染色处理后的试片置于显微镜下逐片观察，并记录和统计水树长度和水树数量。

5.8.4 检查

在每一期老化后的交流逐级击穿试验后，就立即切割试片并进行检查。

对水树的检查和统计应分两步进行。第一步为一般性检查，第二步为详细检查，一般性检查与详细检查应在同一时间段内连续进行。

击穿点解剖和详细检查的结果应包括在鉴定试验报告中。

5.8.4.1 一般性检查

对经染色的试片用立体显微镜、光学比较仪或类似的仪器检查水树。选择的放大倍数应适于水树尺寸的检查。通常从较低的放大倍数开始检查，对需要作更详细检查的区域作出标记。

然后用最小为 30 倍的放大倍数检查这些作了标记的区域。应将这些一般性检查结果和观察到的最值得注意的树枝拍摄照片分别写到和附在鉴定试验报告中。

5.8.4.2 详细检查

对每一期加速水树老化后逐级击穿点附近切割的 30 个试片，应按照本条叙述的方法记录以毫米表示的树枝长度和树枝的数量，并列表成表格，计算这 30 个试片的以立方厘米表示的绝缘层总体积，以供下述计数用。

对这些试片应采用能够强化目力检测水树的显微镜、光学比较仪或类似的仪器进行检查。选择的放大倍数应适于水树长度的检查。

在鉴定报告中检查结果应以单位体积立方厘米表示。

应对每一老化期的试样进行下列水树计数，并写在鉴定试验报告中。

5.8.5 计数

5.8.5.1 管状水树

在每一期加速水树老化后的 30 个试片上，对从导体屏蔽和绝缘屏蔽上开始发展生长起来的长度为 0.25mm 及以上的水树按不同的长度范围进行计数并列表成表格。列表成表格时水树分组的长度范围为 0.25mm～0.39mm、0.40mm～0.51mm、0.52mm～0.64mm、0.65mm～0.76mm 等。

5.8.5.2 小型领结状水树

在每一期老化后的 30 个试片中随机选取 10 个，然后对长度在 0.14mm～0.25mm 范围内的领结状水树的数量和长度进行计数。这种水树计数的目的是评价在绝缘中产生大量的小型领结状水树的倾向。

5.8.5.3 大型领结状水树

在每一老化期的所有 30 个试片上，对绝缘中长度在 0.26mm 及以上的领结状水树按不同长度范围进行计数列表成表格。列表成表格时水树分组的长度范围为 0.26mm～0.51mm，0.52mm～0.77mm，0.78mm～1.02mm 等。

附 录 A
(资料性附录)
电缆试样的补充要求

A.1 概述

本标准是用来鉴定交联聚乙烯绝缘电力电缆缆芯材料的抗水树性能, 为了尽量避免在鉴定试验过程中由于不是水树问题引起试样的击穿而需要进行复试(见 5.5.9), 并便于进行试验和对试验结果的评估; 除了符合 4.2 中的规定外, 建议按如下补充要求提供试样。

A.2 导体

紧压、圆形、单芯绞合铜导体, 导体截面 50mm^2 。

A.3 半导电导体屏蔽

A.3.1 半导电导体屏蔽厚度

半导电导体屏蔽最小厚度应符合 5.7.1.2 的规定。

A.3.2 半导电导体屏蔽层与绝缘层界面的微孔与突起

- a) 半导电导体屏蔽层与绝缘层界面上应无大于 0.076mm 的微孔;
- b) 半导电导体屏蔽层与绝缘层界面上应无大于 0.076mm 的进入绝缘层的突起以及大于 0.180mm 的进入半导电层的突起。

A.3.3 半导电导体屏蔽用碳黑中的水溶性离子和灰分的最大允许含量

半导电导体屏蔽用碳黑中的水溶性离子和灰分的最大允许含量见表 A.1。

表 A.1 半导电导体屏蔽用碳黑中的水溶性离子和灰分的最大允许含量

单位为质量分数 10^{-6}

序 号	项 目	普通碳黑	乙炔碳黑
1	铝离子	6	3
2	钙离子	3	3
3	铬离子	3	3
4	铁离子	3	3
5	镍离子	3	3
6	镁离子	15	10
7	硫离子	100	3
8	硅离子	4	3
9	钒离子	3	3
10	锌离子	3	3
11	钾离子	3	3
12	氯离子	11	3
13	灰分	100	100

A.4 绝缘

A.4.1 绝缘厚度

绝缘层平均厚度和最小厚度应符合 GB/T 12706.2—2002 要求。最大平均厚度应不大于 4.8mm。

A.4.2 绝缘中的微孔杂质

- a) 成品电缆绝缘中应无大于 0.076mm 的微孔，大于 0.051mm 并小于 0.076mm 的微孔在每立方厘米绝缘中应不多于 1.8 个；
- b) 成品电缆绝缘中应无大于 0.127mm 的杂质，大于 0.051mm 并小于 0.127mm 的杂质在每立方厘米绝缘中应不多于 0.9 个；
- c) 成品电缆绝缘中应无大于 0.254mm 的半透明棕色（琥珀状）物质。

A.5 半导电绝缘屏蔽

A.5.1 半导电绝缘屏蔽厚度

半导电绝缘屏蔽最大厚度和最小厚度应符合 5.7.1.2 的规定。

A.5.2 半导电绝缘屏蔽层与绝缘层界面的微孔与突起

- a) 半导电绝缘屏蔽层与绝缘层界面上应无大于 0.127mm 的微孔；
- b) 半导电绝缘屏蔽层与绝缘层界面上应无大于 0.127mm 的进入绝缘层的突起以及大于 0.180mm 的进入绝缘屏蔽层的突起。

A.6 金属屏蔽

采用铜带绕包，绕包松紧适当。

A.7 内衬层

采用一层无纺布带绕包。

A.8 护套

优先采用 ST2 护套料。

A.9 标志

除厂名、型号、电压以外，还应有导体截面即 50mm^2 ，制造年月和米计。米计顺序应与交联的先后顺序一致。

A.10 随同试样一起提供的文件和资料

A.10.1 半导电导体屏蔽料、绝缘料、半导电绝缘屏蔽料和护套料的制造商名称、型号和生产日期

A.10.2 半导电导体屏蔽厚度和半导电绝缘屏蔽厚度的设计值

A.10.3 包括各项实测值在内的例行试验报告

A.11 电缆试样长度

提供电缆试样的长度至少 500m。