

ICS 27.120.20

F 83

备案号: 57420—2017

NB

中 华 人 民 共 和 国 能 源 行 业 标 准

NB/T 20420—2017

核电厂安全级电缆及接头鉴定

qualification of class 1E electric cables and splices for nuclear power plants

2017 - 02 - 10 发布

2017 - 07 - 01 实施

国家能源局 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 一般原则 4

5 鉴定原则 4

6 型式试验法鉴定 7

7 和缓环境鉴定 12

8 燃烧试验 12

9 文件 13

10 变更 14

附录 A （资料性附录） 阿伦纽斯（Arrhenius）关系式及其应用 15

前 言

本标准按照GB/T 1.1—2009给出的规则起草。

本标准由能源行业核电标准化技术委员会提出。

本标准由核工业标准化研究所归口。

本标准起草单位：上海核工程研究设计院、中国核电工程有限公司。

本标准主要起草人：楼天杨、顾申杰、张楠、范遂、卢燕芸。

核电厂安全级电缆及接头鉴定

1 范围

本标准规定了核电厂安全级电缆及接头鉴定的基本原则、要求、和指导方法。

本标准适用于核电厂安全级中压和低压电力电缆、控制和仪表信号电缆，包括通信电缆及接头的鉴定。也适用于电气设备内部电线电缆的鉴定。

本标准不适用于核电厂安全级光缆的鉴定。

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 11026 电气绝缘材料 耐热性

GB/T 12727 核电厂安全系统电气设备鉴定

GB/T 18380.12 电缆和光缆在火焰条件下的燃烧试验 第12部分：单根绝缘电线电缆火焰垂直蔓延试验 1kW预混合型火焰试验方法

GB/T 18380.22 电缆和光缆在火焰条件下的燃烧试验 第22部分：单根绝缘细电线电缆火焰垂直蔓延试验 扩散型火焰试验方法

GB/T 18380.32 电缆和光缆在火焰条件下的燃烧试验 第32部分：垂直安装的成束电线电缆火焰垂直蔓延试验 A F/R类

GB/T 18380.33 电缆和光缆在火焰条件下的燃烧试验 第33部分：垂直安装的成束电线电缆火焰垂直蔓延试验 A 类

GB/T 18380.34 电缆和光缆在火焰条件下的燃烧试验 第34部分：垂直安装的成束电线电缆火焰垂直蔓延试验 B 类

GB/T 18380.35 电缆和光缆在火焰条件下的燃烧试验 第35部分：垂直安装的成束电线电缆火焰垂直蔓延试验 C 类

GB/T 18380.36 电缆和光缆在火焰条件下的燃烧试验 第36部分：垂直安装的成束电线电缆火焰垂直蔓延试验 D 类

3 术语和定义

以下术语和定义适用于本文件。

3.1

工厂修制件 factory rework

在工厂生产过程中，在已制造导体或电缆的一部分上增加或重制绝缘、挤出式半导体层或护套材料。

3.2

工厂接头 **factory splices**

由制造厂在生产中连接两根电缆制作的接合点及直接接头区所需的再绝缘,以便能够生产和提供所需长度的电缆。

3.3

代表性电缆 **representative cable**

鉴定试验中为代表许多电缆规格而选用的一根或一组电缆。代表性电缆应包含不同电缆规格的如下特性:

- a) 由特定制造厂采用相同的工艺和控制所生产;
- b) 包含相同的材料,包括绝缘、护套、填充物、包带、屏蔽和工厂接头(如适用);
- c) 相同或更高的使用等级;
- d) 相同或更高的工作电场强度(V/mm);
- e) 结构或配置特征(如,导体的数量或类型)保守地代表所鉴定电缆规格的特征。

3.4

代表性接头 **representative splice**

鉴定试验中为代表许多或一系列接头规格而选用的一个或一组接头。代表性接头应包含不同接头规格的如下特性:

- a) 材料由特定制造厂采用相同的工艺和控制所生产;
- b) 相同的材料;
- c) 相同或更高的使用等级;
- d) 相同或更高的工作电场强度(V/mm);
- e) 结构或配置特征(如,导体分支套数量,V型或直列型)保守地代表所鉴定接头规格的特征。

3.5

安全级 **class 1E**

核电厂电气设备和系统的一个安全级别。这些设备和系统是完成反应堆紧急停堆、安全壳隔离、堆芯冷却以及从安全壳和反应堆排出热量所必需的,或是防止放射性物质向环境大量排放所必需的。

3.6

设计基准事件 **design basis events (DBE)**

在设计中应用的假想事件,以确定构筑物、系统和设备的可接受的性能要求。

3.7

接头 **splice**

电缆满足所需运行条件的永久性导体连接和再绝缘。

3.8

安装寿命 **installed life**

设备或元件从安装到拆除所经历的时间。在此期间，设备或元件能承受设计运行条件。

3.9

鉴定寿命 qualified life

一个构筑物、系统或部件通过试验、分析和（或）运行经验已证明其能够在特定使用工况下，在验收标准范围内运行，同时保持在设计基准事故或地震条件下能够实施其安全功能的时间。

3.10

鉴定状态 qualified condition

设计基准事件发生前的设备状态，已证明在规定的运行条件下满足设计要求。

注：鉴定状态与表征设备状态的特征量（状态指标）相关，这些状态指标在老化处理结束时获得。

3.11

基于状态的鉴定 condition-based qualification

通过对设备、部件或材料的一个或多个状态指标的测量，表明鉴定设备在设计基准事件期间具有执行安全功能的能力。

3.12

显著老化机理 significant aging mechanism

在正常和（或）异常运行工况下，一种老化机理导致设备老化，使设备逐渐和明显地设计基准事件工况期间易受故障影响而无法执行其安全功能。

3.13

严酷环境 harsh environment

由设计基准事件[包括反应堆冷却剂丧失（LOCA）、主蒸汽管道破裂（MSLB）和其它高能管道破裂（HELB），不包括安全停堆地震]导致的环境。

3.14

和缓环境 mild environment

严酷性不超过在电厂正常运行和预计运行事件期间的环境。

3.15

型式试验 type tests

对代表产品的一个或多个物项进行的符合性试验。

3.16

加速老化 accelerated aging

为了在短时间内模拟预期寿命而设计的加速过程。该过程在于将设备或元件置于与已知的可测的物理或化学劣化规律相一致的应力状态下,以便呈现出类似于正常运行条件下预期寿命内将具有的物理和电气特性。

4 一般原则

4.1 概述

安全级电缆和接头在其整个安装寿命期间应满足或超过指定的性能要求。为此,电缆应根据相关标准进行制造,并且遵循质量保证大纲要求。质量保证大纲包括但不限于设计、鉴定和产品质量控制。

鉴定的主要作用是保证安全级电缆和接头在假想使用工况下能够按指定要求运行,并且不存在可导致共因故障的故障机理。

4.2 鉴定寿命与鉴定状态

安全级电缆和接头随时间劣化(老化),其后又暴露于因设计基准事件(DBE)导致的温度、压力、湿气、辐射、振动或化学喷淋,或其组合的极端环境条件,使其呈现出造成共因故障的潜在可能。由于这些原因,有必要对要求在设计基准事件期间和(或)之后(超过了正常和异常工况下的环境条件水平)运行的安全级电缆和接头确立鉴定寿命。鉴定状态是一种劣化状态,这种状态用于证明在随后设计基准事件期间设备能够成功执行功能。其应通过使用5.2~5.6描述的鉴定方法确立,包括型式试验、运行经验、作为型式试验和运行经验补充的分析、在役鉴定、或以上任何组合。

4.3 文件

不管采用何种鉴定方法,在鉴定活动结束后,均应形成文件以证明电缆和接头能够执行其安全功能。文件应便于审查,供鉴定方以外的人员来查证。内容应包括:

- 电缆和(或)接头的规范书或鉴定大纲;
- 满足鉴定大纲的证明文件;
- 检查与维护要求;
- 摘要和总结。

对于所有鉴定活动,最终结果均应形成足以证明电缆和接头能够执行其安全功能(不存在可导致共因故障的故障机理)的文件。文件应可供相关人员查证,以证明电缆和接头得到了正确的鉴定。

5 鉴定原则

5.1 鉴定程序选择

安装于严酷环境区域设计基准事件期间及之后必须执行安全功能的电缆和接头应确定鉴定寿命和鉴定状态。处于和缓环境且没有显著老化机理的电缆及接头不要求确定鉴定寿命,而具有显著老化机理的电缆及接头则应确定鉴定寿命。电缆和接头的鉴定寿命可用指定运行温度下的年数表示。安全级电缆和接头的鉴定应使用特定或通用鉴定方式。

在预料情况之外出现的故障应进行根本原因评估,确定是否需要采取纠正措施,以防止共因故障的发生:

- a) 特定鉴定:鉴定准则为包络单一应用场合下的一套要求。其鉴定程序应证明所有适用工况下(包括时间)电缆和接头的可运行性。特定鉴定时,特定的电气参数可代替电缆或接头的额定参数使用;

- b) 通用鉴定：鉴定准则为包络许多应用场合下的一套通用要求。为对特定应用场合确立鉴定，特定鉴定的要求应等于或低于通用鉴定的要求。

安全级电缆和接头及其应用接口的特定或通用鉴定应通过以下5.2~5.6中描述的一个或多个方法进行。

5.2 型式试验法

电缆和接头样品的型式试验是鉴定的优选方法。型式试验用来证明电缆和接头在其鉴定寿命内，能够在经受因指定使用工况（包括设计基准事件）产生的应力期间和（或）之后执行安全功能。试验模拟的工况，应达到或超过电缆和接头所处位置指定的使用工况。试验样品应按产品生产或制作组装方法文件进行生产组装，并按试验大纲进行试验。样品的部件应从其批量产品中随机选择，否则，应采用模拟的生产程序制造和组装模拟件。样品试验应代表通用或特定电厂最严酷的应用情况。

型式试验法鉴定应包括必要的收集数据和分析，以证明如下内容：

- a) 试样能够代表实际电厂应用情况下的组件；
- b) 试验条件至少与鉴定大纲中定义的条件同样严酷；
- c) 所收集的与试样性能相关的试验数据能够让使用者充分确定，对于特定应用情况，所要求的安全功能能够实现。

5.3 运行经验法

便于审查的运行经验数据最好用于正常使用工况下的电缆或接头鉴定，以确定外推限值、故障模式、故障率或确认先前关于使用工况影响的结论。运行经验数据在确立设计基准事件工况下严酷环境的鉴定时，通常用处有限。当在役样品暴露于老化条件后成功通过相关设计基准事件工况时，运行经验数据可进行使用。运行环境的文件记录应包括运行设施中，电缆或接头的详细物理位置和安装相关信息。电缆或接头的鉴定应能够证明：

- a) 文件记录的使用工况至少与目标应用场合同样严酷；
- b) 所鉴定的电缆或接头能够代表在役的电缆或接头；
- c) 文件记录的在役电缆或接头等同于或超过指定的性能要求。

鉴定报告应识别和论证与上述要求相比存在的任何差异。该证据作为文档保存的时间应当覆盖整个产品的鉴定寿命区间。

5.4 分析法

分析法不能单独用于鉴定。分析法仅能作为型式试验和运行经验的补充，在如下情况使用：

- a) 支持试验假定和结果；
- b) 评价试验数据或运行经验数据；
- c) 确定试验故障原因，随后，在经论证的情况下，根据较不严酷的使用工况或验收准则确立鉴定；
- d) 将型式试验结果用于厂内实际情况；
- e) 扩大通用试验的范围，以证明其性能相关的物理特性是相似的，材料是相容的，并且材料相互作用的方式与用于已鉴定电缆和接头上的方式相似。

分析法的使用应在鉴定报告中对该工况或准则进行清晰的描述。

5.5 延长鉴定寿命

当鉴定寿命小于预期安装寿命时，鉴定寿命可通过在役鉴定延长，包括如下所述方法：

- a) 电缆或接头应基于可用数据得到初始鉴定寿命。虽运行在初始鉴定寿命内，其他同样类型的电缆或接头可置于自然或加速老化环境中，进行条件可控的老化。这些其他试样随后应从老化

处理环境中移出,并进行型式试验。型式试验可包括附加的加速老化、设计基准事件(DBE)和设计基准事件后(post-DBE)模拟试验。成功完成型式试验便可将鉴定寿命延长一段额外的老化时间。该程序可重复使用,直到鉴定寿命等于电缆和接头所要求的安装寿命,或当小于所要求的安装寿命时,达到电缆和接头的最大寿命为止;

- b) 当电缆或接头比最初的预测更为耐用时,可采用监测程序来延长已安装电缆和接头的鉴定寿命。这要求对受老化劣化影响的特性参数进行定期监测,且与指定的验收准则作比较。验收准则应基于所鉴定电缆或接头老化处理后的特性参数。当不超过验收准则范围时,便表明电缆或接头未受到老化的不利影响,可再用一个时间间隔。监测的时间间隔应进行确立,以防止在采取纠正行动前,劣化超出验收准则的范围。纠正行动包括具体维护、修改或替换;
- c) 当能够证明最初假定的运行或环境条件与设备所安装位置的实际条件相比过于保守时,鉴定寿命可以延长。

以上任何方法均属于在役鉴定。其他得到恰当论证的方法也可接受。以上方法或其他在役鉴定方法的适用性应进行论证。遵循的具体大纲应形成文件,并且保留可供审查的鉴定证据。

5.6 组合法

电缆和接头可通过型式试验、有文件记录的以往运行经验和分析的组合进行鉴定。型式试验或运行经验结合分析是组合法鉴定的典型例子。鉴定应提供便于审查的数据,以证明组合法能够满意地应用于具体鉴定程序中。

5.7 状态监测

状态监测可用于替代鉴定寿命,来确定已鉴定的电缆和接头是否可继续使用。用于鉴定的状态监测对一个或多个状态指标进行监测,以确定电缆和接头是否处于鉴定状态。状态指标的趋势在鉴定试验期间试样老化处理期间确定。状态指标必须可测量、与所鉴定电缆和接头的功能劣化相关联,并且从未老化至事故前鉴定状态极限有一致的趋势。状态监测可结合鉴定寿命概念共同使用或独立使用。随着已鉴定电缆和接头接近理论鉴定寿命终点时,应定期执行状态监测,以确定实际老化速率是否较慢,以及是否有可能基于状态监测结果进一步开展鉴定工作。

安全级电力、控制和仪表电缆应执行环境条件的监测程序(如温度、辐照水平等)和状态监测。状态监测程序可包含任何适用的技术,同时结合现场走访来寻找与老化相关异常情况的可视迹象,尤其需注重局部不利环境或热点区域的识别。对于无法接近或安装于地下的安全级电力电缆,应执行适当的检查、试验和监测程序,以探测劣化情况。状态监测及其频率可根据电缆性能情况进行调整。

5.8 基于状态的鉴定

基于状态的鉴定是5.2中所述型式试验法的辅助方法。为了使用基于状态的鉴定方法,老化处理按逐渐递增的方式执行,在每个增量下测定状态指标,以建立数据用于和服役期间相同指标的数据进行观察对比。尤其是设计基准事件试验之前,在老化处理结束时,需确立状态指标的寿命末状态。如已完成鉴定程序,老化处理可在另外样品上按同样递增方式进行状态指标测量。状态指标必须是状态不利变化方面的主导性指标,或直接与电缆或接头执行功能的能力相关,或与鉴定程序中的老化程度相关。所测得的变化必须足够大使得能够区分老化程度,并且具有足够的一致性,以便确立鉴定状态。如果在常规鉴定过程中获取了状态数据,则使用方可选择是通过传统方法中的鉴定寿命进行鉴定,还是基于状态的结果,抑或两者的组合。当采用基于状态的鉴定时,电缆或接头在其达到寿命末状态前将一直处于鉴定状态。如果状态指标没有趋势性,则鉴定依据可重回至鉴定寿命。基于状态的鉴定文件必须包含试验方法的完整描述,结果的适用范围,以及所采用的老化处理方法。

6 型式试验法鉴定

6.1 概述

型式试验是用于证明或有助于证明电缆和接头能满足适用使用工况下性能要求的优先方法。设计基准事件的型式试验参数应包含裕度。这些裕度增加了试验的严酷度，以保证其保守性。裕度的用法指导参见GB/T 12727。型式试验应根据试验计划（参见GB/T 12727）执行。通过测量相关使用工况下所评价电缆和接头的电气和物理性能，便可评估电缆和接头的性能。

6.2 型式试验样品选择

6.2.1 总体要求

选择用于型式试验的样品对所鉴定电缆和接头应具有代表性。

6.2.2 单芯、多芯和多根绞合电缆

带护套或不带护套单芯电缆或多芯或多根绞合电缆组件中的绝缘线芯，应将绝缘暴露于试验环境中进行鉴定。该做法用于证明绝缘线芯能够独立于护套材料而执行其目标功能。然而，中压电缆仅要求对成品电缆进行试验，包含护套、屏蔽和适用的应力控制层。

带护套的单芯电缆样品同样应进行试验，以证明：

- a) 单芯和多根绞合电缆的护套系统与其下层绝缘之间无不利的相互作用；
- b) 对于连接器和接头应用场合，能够保持护套完整性。

粘连型护套样品用于充分地模拟带或不带该粘连结构的相互作用。粘连型护套指电缆护套与电缆绝缘粘合在一起的结构。该粘连可通过制造技术，或制造期间在护套和绝缘之间使用粘合剂或结合剂的方式实现。

多芯电缆应以成品电缆的方式同样进行鉴定，以证明外护套与其下层绝缘、填充物和包带之间无不利的相互作用。

型式试验样品电缆当且仅当试验期间所施加的峰值电场强度（V/mm）等于或高于较高额定电压试样所要求的峰值电场强度时，才可以鉴定相同电压等级中有相同绝缘厚度和更大绝缘厚度的电缆，而与额定电压无关（如6kV的鉴定适用于15kV，500V壁厚的鉴定适用于1000V壁厚）。

6.2.3 同轴、三同轴和双同轴电缆

同轴、三同轴和双同轴电缆样品的型式试验，仅能够鉴定具有完全相同材料的电缆。当选用代表性样品时，应考虑独有的结构特征，其包括但不限于屏蔽编织角及屏蔽填充材料的使用，以用于防水或抑制静电。

同轴、三同轴和双同轴电缆应带护套进行试验，以证明护套能够保证以下功能：

- 作为防潮层需具有的完整性，且与其下层绝缘无不利的相互作用；
- 连接件和接头应用场合所要求的完整性；
- 外屏蔽和地之间所要求的绝缘特性。

设计基准事件模拟期间的热和蒸汽的影响可能导致同轴和三同轴电缆的同心电缆层不同的收缩或扩张，从而使导体短路或丧失关键绝缘性能。设计基准事件试验中，试样应具有足够长度并适当配置，以评价该潜在故障模式。

6.2.4 接头

接头样品应仅对具有相同代表性结构和制作程序的接头进行鉴定。单根导体接头（如，电气上将两根导体相互连接）的鉴定适用于具有相似设计特性的接头。多根导体接头（如，电气上将三根或更多导体相互连接）的鉴定适用于具有相似设计特性的接头。设计特性包括配置（直列型或“V”型）、连接（螺栓固定或压接）、结构层（护套、绝缘、屏蔽、半导电层）、层的厚度和电缆接口（电缆护套或绝缘材料、密封搭盖长度、密封粘合剂，以及接口制备）。

6.3 电缆和接头的描述

6.3.1 总体要求

电缆和接头的描述和规格说明应至少包含以下适用的信息。

6.3.2 电缆

6.3.2.1 导体

材料类型标识、截面尺寸、绞合方式（圆型、压缩型或紧压式）、镀层。

6.3.2.2 绝缘

材料标识、制造厂材料牌号、厚度、交联方法（如适用）、颜色和组分。对于中压电缆，挤出式半导电屏蔽也同样适用该信息要求。

6.3.2.3 缆芯

导体、填充物和包带的数量和排列，包括填充物和包带的材料标识。

6.3.2.4 屏蔽

电缆的屏蔽应考虑：

- a) 材料标识、厚度和组分，包括编织屏蔽的编织角；
- b) 绝缘或整体静电屏蔽等其他屏蔽方面的信息；
- c) 屏蔽带的搭盖率和节距。

6.3.2.5 填充物和包带

材料类型标识，包括制造厂材料牌号和类型。

6.3.2.6 护层

材料类型标识（护套或铠装）、护套结构（内护套、外护套或均有）、制造厂材料牌号、铠装类型、厚度和组分。

6.3.2.7 特性

由相关运行要求确定。包括但不限于：电压、电流、频率、导体温度和周围条件，根据具体应用场合，仪表电缆还可包括电容、衰减系数、特性阻抗、噪声和绝缘电阻。

6.3.2.8 标识

制造厂及其商标名称、型号、规格，以及适用制造标准的版本和制造日期。

6.3.3 接头

6.3.3.1 电缆

每根线芯均要求6.3.2所规定的信息，或制造厂可追溯至该类信息的指定和描述。

6.3.3.2 导体连接

类型（如螺栓固定或压接等）、材料标识和组装方法。

6.3.3.3 组装

工厂制作还是现场组装。如现场组装，具体程序、检查或试验以及组装过程中使用的设备。

6.3.3.4 材料

所有绝缘、胶泥和护套材料的标识，包括制造厂材料牌号、厚度、颜色和组分。

6.3.3.5 特性

由相关运行要求确定。包括但不限于：配置、连接、结构层和电缆接口。

6.3.3.6 标识

制造厂及其商标名称、型号、规格，以及适用制造标准的版本和制造日期。

6.4 老化处理

随着时间的发展，正常使用工况的影响可增强或降低电缆和接头在设计基准事件下承受极端环境与负荷的能力。因此，除非另外论证，设计基准事件工况的型式试验应同时包含老化前和老化后的样品。

老化处理包括温度和辐射，以加速方式同时或依次施加。

当确定相关绝缘和护套材料类型存在重要的运行相关协同效应、剂量率效应、扩散受限氧化效应或加速相关剂量率效应，且在加速试验中重现该类效应的方法可知时，该类方法应加以使用，同时适当考虑费用、时间和复杂性。热和辐照老化的协同效应，可通过将试样同时暴露于辐照和热环境中，或选择适当的试验顺序、加速水平或持续时间来处理。剂量率和扩散受限氧化效应，常通过降低加速水平和延长暴露时间的方式将其效应降至最低水平。当无迹象表明存在协同效应时，则至少在鉴定报告中应包含该项明确申明。

模拟鉴定寿命时，样品热老化的依据可为阿伦纽斯（Arrhenius）方法（参见附录A），或其他经证实有效和适用于相关材料的方法。阿伦纽斯方法及相关活化能值可遵照GB/T 11026系列标准。

6.5 试验程序

6.5.1 老化特性

应使用老化数据以确立关键材料的活化能，包括绝缘、护套（当电缆护套会影响电缆鉴定时）、胶泥（当用于接头并作为一部分进行鉴定时）和半导体材料（若使用）。如阿伦纽斯方法用于确立活化能，则这些老化数据应由基于三个或三个以上温度点的热老化试验来获得，并且相邻温差应不低于10℃。

按GB/T 11026的规定，上述热暴露温度点的取值应满足下列要求：

- 热暴露最低温度点的取值应使进行该温度暴露的试样平均寿命或中值寿命大于 5000 h；
- 用于材料温度等级确定的外推温度范围应不大于 25℃；
- 热暴露最高温度点的取值应使进行该温度暴露的试样平均寿命或中值寿命不低于 100 h，但尽可能低于 500 h；

d) 中间温度点应以相同的间隔进行取值，一般不低于 10℃。

推算鉴定寿命时，应给出所采用数据的精度。多半情况下，对于大部分电缆结构类型来说，组成复合电缆组件的材料会受加速老化的作用而产生不同的影响。应评估所有关键电缆部件与加速老化相关的敏感性，以确立整个老化程序，使这些关键部件中的某一些，既不会显著地过度老化也不会老化不足。例如，可能需要对绝缘和护套分别准备样品进行老化。复合组件加速老化所采用方法的原理，需作为整个鉴定文件包的一部分记录于文件中。

当电缆部件易受正常工况的影响而发生劣化，并且该劣化可明显影响到电缆或接头在设计基准事件下的功能，则该部件对于老化来说是关键的。例如，对于复合绝缘来说，如外层老化过度，则会使整个绝缘系统在设计基准事件下发生故障。电缆绝缘系统的所有关键部件必须至少包含于一个试样之中。然而，绝缘部件可按绝缘线芯或材料试样（如，平板或哑铃片）的方式包含于试验程序的试样之中，以便对鉴定能够有进一步的理解。

6.5.2 正常工况热老化和辐照老化

根据6.4所述，样品应老化至其预期的寿命终点状态。当具有不同老化特性的材料组合在一起用于产品相关结构时，可能有必要对不同部件分别进行老化。为了证明电缆运行寿期内材料的可接受性，可能需要使用平板，哑铃片试样或管状结构试样进行补充老化和分析。该类补充试样的使用应在鉴定报告中论证。这些试样不能用于替代6.2中所要求的试样。有些特定试验可能会涉及惰性气氛环境中使用的电缆或接头的鉴定，如一些沸水堆应用场合。惰性气氛环境的影响可作为采用阿伦纽斯之外其他老化技术的依据；然而，应对替用的技术进行论证。

以下试验程序可用于热老化和辐照老化模拟，并证明电缆和接头样品在经过老化后的可运行性。以下所列热老化后进行辐照老化的顺序并非必须要求，当考虑潜在协同效应或当不存在该效应时，为便于完成老化试验，其顺序可以调换：

- a) 根据 6.2 选择样品后，将其制作为适当长度的试样，使得每个试样在试验中的有效长度不小于 3.05 m。当接头需要鉴定时，样品应包含一个接头。对于接头材料试验的情况，3.05 m 最小长度不适用于接头；然而，接头应作为组件（包含引出电缆）的一部分，即总共至少 3.05 m 长，以便于试验。
- b) 将试样置于循环空气老化烘箱中进行加速热老化。用以模拟电缆在鉴定寿命期间发生的热老化所需的温度和时间可由阿伦纽斯方法或其他经证明有效的方法来确定。
- c) 按 6.5.2 b) 条热老化的样品应置于空气中经受辐照老化，以达到鉴定寿命期间正常工况下所有辐照源产生的总累积剂量。
- d) 在 6.5.2 c) 条辐照老化后，电缆样品应拉直（如卷曲），然后重新绕制成内径不超过电缆外径 20 倍左右的线圈，以证明其不发生脆化且有足够的柔韧性。卷曲的样品随后应浸没于室温下的自来水中，并保持至少 1 h 的“浸泡”时间。在“浸泡”期末且仍处于浸没状态时，卷曲的样品应能通过耐压试验：线芯与线芯间以及线芯与水和屏蔽（如有）间，施加电压为交流 3150 V/mm 或直流 9450 V/mm，持续时间 5 min。除此之外，需要保证护套完整性的同轴、三同轴和双同轴电缆或其他屏蔽电缆应根据相关国家标准进行直流绝缘电阻或高电压试验。这些样品无需进一步通过鉴定试验或另一次浸水耐压试验。
 - 1) 对于接头说来，交流试验电压可基于接头或电缆绝缘厚度确定，但应不低于额定电压的两倍外加 1000 V。
 - 2) 对于某些接头设计来说，卷筒弯曲试验可能并不适用。对此，当存在其他试验数据时，耐压试验可在无卷筒弯曲的情况下进行，以证明该结构的材料在试验后仍能够保持柔韧性。

注：本节中试验电压的计算是以电缆试样的绝缘厚度为单位。

- e) 在老化模拟期间或之后，应考虑获取材料性能的状态数据。该类数据可按 5.5 的要求，在将来用于潜在鉴定寿命的延长。

6.5.3 设计基准事件期间的辐照老化

本条针对失水事故（LOCA）或高能管道破裂（HELB）工况制定，但不局限于此。

本试验应至少准备每种类型的电缆或接头各两个试样，使试样的有效长度（如为接头，则包含引出电缆）不小于 3.05 m，并满足如下要求：

- a) 至少一个试样未经过老化；
- b) 至少一个试样按 6.5.2 b) 和 c) 进行了热老化和辐照老化。

所有试样随后均应在空气中经受辐照老化至假想设计基准事件环境所预期的总累积剂量。

6.5.4 设计基准事件模拟与试验

6.5.4.1 设计基准事件模拟

使用方应指定设计基准事件的参数、需监测的电气和环境参数，以及预期应用场合下的验收准则。设计基准事件模拟和试验程序应至少包络环境和电气参数，并包含验收准则。出于额外屏蔽特性或更高绝缘性能的考虑，通常选用同轴、双同轴或三同轴等特种电缆。通常出于额外屏蔽特性或更高绝缘性能的考虑而选用。在这些情况下，应针对特定应用场合评估其性能，而非电缆的最终性能。例如，任何因高频性能而使用这些电缆的专用场合，必须进行专门评估，以规定性能准则。

6.5.3 中所述的样品应在压力容器中进行试验，此容器的结构应能使试样在额定电压和电流下运行的同时，经受设计基准事故极端环境的作用。容器应有监测和改变温度及蒸汽压力、使化学喷淋物质再循环及对试样施加规定电气负荷并进行性能试验的功能。容器具体的设计对试验性能来说并不是关键的；然而，在可行的情况下，所有电缆的表面均应相似地暴露于环境中。电缆应与适当的接地平面相连。

- a) 当样品安装于压力容器中之后，在事故瞬态启动前，试验容器应先稳定于设计基准事件前的温度，并持续至少 1 h。试样应在整个稳定期内始终通电，并施加鉴定电压和电流。通电的试样应经受一整个设计基准事件环境的循环，其至少应满足指定的设计基准事件包络曲线，并包含裕度和化学喷淋。
- b) 样品应在整个设计基准事件模拟期间所要求的运行时间内，保证电气功能始终满足指定的电气参数要求。在整个试验期间，性能数据应持续或以指定间隔进行收集和记录。如数据无法持续监测，则采样间隔应足以证明能够满足性能准则要求。性能准则要求，如电流、绝缘电阻和阻抗，应与样品结构和应用场合相关，并且随着电力、控制和仪表等应用场合的不同而存在变化，如同心结构中为保护屏蔽、护套所起的功能作用。同轴、三同轴和双同轴电缆的型式试验鉴定应包含电缆关键电气性能特性方面足够的试验，以便能够充分分析同轴、三同轴和双同轴电缆在具体应用场合下的兼容性。

试验持续时间的确定基于指定的设计基准事件环境包络曲线，并适当考虑设计基准事件后，一些环境参数和所要求功能性的降低情况。设计基准事件后的持续时间应确立标准。出于实际情况的考虑，该持续时间可能需要压缩。例如可对需要长期运行的设备进行评估，包括采用替代方法将反应堆维持于安全状态之下，来压缩设计基准事件后的持续时间。

一般电缆并非针对浸水工况而设计，除非其具有海底电缆等专门设计的结构。对于设计基准事件后工况需长期浸水的情况，若电缆的故障影响核电厂执行安全功能，则应通过试验加以证明。阿伦纽斯方法不可用于设计基准事件工况后电缆的长期浸水试验。对于存在浸水工况的区域，使用方应通过试验证明，这些电缆的设计或鉴定能够满足所指定的持续时间要求。

6.5.4.2 设计基准事件模拟后试验

设计基准事件模拟完毕后,为证明电缆或接头仍保有一定程度的柔韧性、电气性能裕度以及能够承受一些移动和振动,应将试样拉直(如弯曲)并绕一个直径约为电缆外径40倍的卷筒弯成线圈,然后浸入室温下的自来水中并持续1 h。浸入水中的这些试样应能通过6.5.2 d)中相同的耐压试验。一些特种电缆如同轴或三同轴电缆,往往因其具有更高的绝缘性能而选用。在这些情况下,较低的试验电压可能会存在裕度。当试验电压参照其他方法而非6.5.2 d)中所要求的电压选择时,其电压应不低于额定电压的两倍外加1000 V。

6.5.5 柔韧性保持检查

为证明电缆试样保有一定程度的柔韧性,按6.5.2 b)和c)热老化和辐照老化模拟后的试样应满足6.5.2 d)的要求,用于失水事故或高能管道破裂工况鉴定的试样应满足6.5.4.2的要求。

7 和缓环境鉴定

和缓环境电缆与接头的规定、设计和选择应满足目标运行工况的要求。这包括对热和辐照数据的评价,以确定运行寿命。和缓环境电缆和接头的鉴定应提供合格的依据来证明电缆满足或超过技术规格书所规定的要求。使用方有责任确保满足3.14中所定义和缓环境的判别要求。

8 燃烧试验

8.1 一般要求

本条规定了对成束电缆进行型式试验的方法,它是借助于垂直托架燃烧试验来确定电缆的相对自熄特性。本条亦规定了仪表电缆和多芯电缆中单根绝缘电线电缆的垂直燃烧试验方法。如无明确依据证明电缆老化后的燃烧性能不受影响,则老化前和老化后样品均应经受上述燃烧试验。

燃烧试验应证明,在特定的电缆外护套和绝缘层因燃烧而损坏的条件下,该电缆具有限定的火焰蔓延特性。

本试验用于筛选出那些不具有自熄能力的电缆绝缘材料,而非针对电缆敷设系统的鉴定。电缆接头同样应通过本条中的试验证明电缆的阻燃特性并未因此而恶化。

8.2 试验样品

为确保燃烧试验结果的包络性,试样的选择除满足6.2中的要求外,尚应满足燃烧试验对样品的要求。除使用方、权威试验机构或监查方有专门要求外,应对每种电缆所用最小导体规格的电缆进行燃烧试验,以鉴定所有使用相同材料且更大规格的电缆。电缆部件的增加或减少或材料的改变应构成新的电缆设计,但具有金属导体的电力或控制电缆填充或绞合隔离带的去除,不应构成新的电缆设计。

电缆结构应包含所有适用电压等级下的单芯电线电缆或多芯电缆,具体如下:

- a) 多芯电缆:设计中最小规格、最少芯数的电缆,如 0.75 mm^2 ;
- b) 单芯电线电缆:最小规格的电缆。

注:电缆行业的实际经验表明,最小导体的燃烧试验能够包络相同电压等级和电缆设计下更大截面导体的燃烧试验。

8.3 成束电缆燃烧试验

代表性电缆样品应根据设计方指定的GB/T 18380.32、GB/T 18380.33、GB/T 18380.34、GB/T 18380.35或GB/T 18380.36标准中相关类别的阻燃要求，进行成束电缆燃烧试验。

8.4 单根绝缘电线电缆燃烧试验

1000 V及以下单芯和多芯电缆中的单根绝缘线芯，其代表性样品应根据设计方指定的GB/T 18380.12或GB/T 18380.22（适用于 0.5 mm^2 以下细电线电缆）标准要求，进行单根绝缘电线电缆燃烧试验。

不在桥架中敷设的配电盘电缆以及同轴、三同轴和双同轴电缆，在满足GB/T 18380.12或GB/T 18380.22（适用于 0.5 mm^2 以下细电线电缆）标准要求的条件下，可不要求8.3中所述的成束电缆燃烧试验。

9 文件

9.1 概述

电缆和接头的鉴定数据应以可审查的格式编制于文件或报告中，以便提供依据证明，电缆和接头经鉴定能够用于目标应用场合，并且满足指定的性能要求。文件应包含如下信息：

- 所鉴定电缆、接头以及工厂修制件和工厂接头的类型和规格的详细描述。描述的内容应指明相关结构的材料，包括任何填充和（或）包带材料。应对具体工厂修制件和（或）工厂接头的类型进行详细描绘；
- 鉴定大纲或程序：包含指定的性能要求、环境使用工况和设计基准事件参数，所鉴定电缆和接头的范围，以及确立鉴定所采用方法和依据的说明，包括采用分析法和运行经验法作为鉴定过程的一部分的描述和论证；
- 指定的环境使用工况和设计基准事件参数；
- 指定的性能要求和试验结果；
- 试验异常情况和试验数据分析；
- 确立依据，以得到成功鉴定结果；
- 鉴定过程中采用运行经验法或分析法时，对其进行描述和论证；
- 审核或批准签字和日期。

文件还应包括制造厂的检查和维护要求。

9.2 型式试验文件

型式试验文件应：

- 证明与鉴定大纲或规范书相关方面一致；
- 对试验样品、布置、模拟工况、性能数据和结果等试验程序进行完整的描述；
- 对试验结果进行评价，以判定其按指定要求是否足够充分能够用来确立鉴定。

型式试验文件应包含但不限于如下信息：

- 电缆试样的布置和试验设备的描述；
- 所有环境因子暴露的时间和顺序；
- 所有环境和电缆的变量监测传感器的型号和位置；
- 设定的电压和电流；
- 在环境暴露期间所进行的电气测量和试验；
- 设计基准事件环境暴露之后的试验和检查；

- g) 测量试验设备的标识, 包括精度和标定日期;
- h) 试验结果应包括试验期间所发生异常情况及其对结果影响的分析。试验结果同样应证明目标环境序列是否完成, 并且电缆或接头是否能够执行目标功能;
- i) 试验数据应进行评价, 以确定电缆和接头性能的符合性和充分性。

9.3 型式试验以外其他鉴定方法的文件要求

型式试验以外其他鉴定方法的文件要求如下:

- a) 运行经验法、分析法或在役鉴定数据可用于支持鉴定或将现有鉴定扩展至变更后的产品。对此, 相关数据应包含如下适用的内容:
 - 1) 所测得数据;
 - 2) 过往故障分析与趋势;
 - 3) 定期维护和检查的描述;
 - 4) 预期使用工况的描述;
 - 5) 数据和分析对目标功能的适用性;
 - 6) 为保持鉴定所需遵循的程序;
 - 7) 以往试验对变更后产品继续适用的原则。
- b) 文件记录应包含如下内容:
 - 1) 对所鉴定电缆和接头与可用运行经验法、分析法或在役信息的电缆和接头之间的相似性进行讨论;
 - 2) 关于鉴定寿命的结论。

9.4 材料可追溯性

规范书应进行存档和管理, 其对电缆和接头的结构材料有详细的描述, 可作为依据证明鉴定结果能够直接适用于所有制造的产品批次。

10 变更

当电缆和接头的材料、设计或假想环境发生变化时, 即这些属性与鉴定程序中所假定的存在差异, 则应对先前的鉴定进行复核, 以确定该变化对电缆鉴定状态的影响。该复核应指明是否需要附加的型式试验或补充分析, 以对修改后的产品或状态确立鉴定。该复核同样应能够通过结论的支持性数据提供详细的论证或分析, 确定是否需要附加的型式试验或补充分析。相关信息应随鉴定文件保存, 并作为9.3中规定的可查证文件的一部分。

附录 A (资料性附录)

阿伦纽斯 (Arrhenius) 关系式及其应用

阿伦纽斯关系式说明化学反应速率和温度之间的函数关系,适用于近似计算绝缘材料寿命和温度之间的关系。从理论上讲,只有在单一的化学反应影响绝缘材料的老化过程中,运用阿伦纽斯关系式才有效。当存在其他的化学反应时,如果它们不影响相应材料的老化过程,仍然可以运用阿伦纽斯关系式。有时候,一种化学反应在某一个很大的温度范围内影响相应材料的老化过程,而具有不同相关温度特性的另一种化学反应在较低的或较高的温度范围内对老化过程产生影响。因此,各种不同的情况对运用阿伦纽斯关系式给出了相应的限制。

本附录给出的绝缘材料寿命和温度关系的阿伦纽斯关系式作为分析寿命试验数据的基本关系式。

用于计算化学反应速率的阿伦纽斯关系式为:

$$K=A'\exp(-E/RT) \dots\dots\dots (A.1)$$

式中:

K ——化学反应速率,单位为摩尔每秒 (mol/s);

E ——化学反应的活化能(对于所考虑的温度范围,假定它是常数),单位为焦耳 (J);

R ——气体常数;

T ——绝对温度,单位为开尔文 (K);

A' ——频率因子(假定为常数)。

设 y 为绝缘材料寿命,并假定 y 和化学反应速率 K 成反比,经过简单推导得到下列关系式:

$$\lg y = \text{常数} + (1/2.303) (E/RT) \dots\dots\dots (A.2)$$

再将 (A.2) 式改写成下列代数式:

$$Y = a + bX \dots\dots\dots (A.3)$$

式中:

$Y = \lg y$;

$X = 1/T$;

a = 常数;

$b = E/2.303R$, 另一个常数。

根据公式 (A.3) 中的 Y (即 $\lg y$) 和 X (即 $1/T$) 之间的对应关系所得到的相应的实验数据可以计算出常数 a 和 b 。为此,可以把实验中测得的数据作成曲线,并直观地将通过测量点的最吻合的直线作为计算依据;或者也可以用最小二乘法进行更精确的计算。后者可以给出更精确的计算结果,直线和测量点之间的均方根差比其他情况下的都小。

根据上述方法产生的实验数据所得到的 Y 和 X 之间的函数关系经常需要外推到试验温度范围以下,其目的是:

- a) 预测绝缘材料或系统在设备实际运行温度范围内所具有的特性;
- b) 预测短时间超载、达到较高的局部过热温度对设备中材料寿命的影响,估计材料寿命和温度之间的关系;
- c) 预测设备在程度不同的局部过热温度条件下运行时的材料寿命。

如果在较高温度下,影响绝缘材料老化过程的化学反应不一样,或影响老化过程的其他环境条件或故障的方式不同,那么将直线外推到试验温度范围以下可能得到错误的结论。所以,只有在满足使用阿伦纽斯关系式的全部假定条件以后,才能运用本附录所介绍的方法。

外推阿伦纽斯关系式应掌握在最小的实用数值范围以内,以便使所接受的 I 和 X 之间的线性关系受可能偏差的影响最小。这一点并不影响阿伦纽斯关系式的使用价值,因为在遇到较大的实用数值范围时,常常通过更大范围的试验或实际经验进行校核。

中 华 人 民 共 和 国
能 源 行 业 标 准
核电厂安全级电缆及接头鉴定
NB/T 20420—2017

*

核工业标准化研究所出版发行
北京海淀区骚子营1号院
邮政编码：100091
电 话：010-62863505
原子能出版社印刷
版权专有 不得翻印

*

2017年7月第1版 2017年7月第1次印刷
印数 1—50 定价 37.00 元