

ICS 27.120.99

F 83

备案号: 57421—2017

NB

中 华 人 民 共 和 国 能 源 行 业 标 准

NB/T 20421.1—2017

核电厂安全重要电缆状态监测方法
第 1 部分: 总则

The condition monitoring methods of cable important to safety
in nuclear power plants Part 1: General

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 状态指标 2

 4.1 概述 2

 4.2 化学指标 2

 4.3 物理指标 2

 4.4 电气指标 2

5 不同类型有机材料状态指标的适用性 2

6 破坏性和无损状态监测 3

7 状态监测在设备鉴定和老化管理上的应用 3

 7.1 概述 3

 7.2 应用状态监测确定鉴定寿命 3

 7.3 应用状态监测延长鉴定寿命 4

 7.4 应用状态监测来建立和评估鉴定状态 5

 7.5 应用基准数据 5

参考文献 7

前 言

NB/T 20421《核电厂安全重要电缆状态监测方法》分为5部分：

- 第1部分：总则；
- 第2部分：压痕模量；
- 第3部分：断裂伸长率；
- 第4部分：氧化诱导技术；
- 第5部分：光时域反射。

本部分为NB/T 20421第1部分。

本部分按照GB/T 1.1—2009给出的规则起草。

本部分由能源行业核电标准化技术委员会提出。

本部分由核工业标准化研究所归口。

本部分起草单位：中广核核电运营有限公司，苏州热工研究院有限公司，中国核电工程有限公司，上海核工程研究设计院。

本部分主要起草人：高超、余加银、陈吉胜、吴超、钟帆、刘韬、尚雪莲、陈磊、崔忠。

核电厂安全重要电缆状态监测方法 第1部分：总则

1 范围

NB/T 20421的本部分规定了电缆状态监测方法的一般要求。

本部分适用于核电厂安全重要电缆的状态监测，也适用于含有机或聚合物材料的其他设备的状态监测。

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，仅所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 20087—2012 核电厂安全重要仪控电缆老化管理指南（Aging management guidance for instrument and control cables important to safety for nuclear power plants）

IEEE std 323 核电厂1E级设备鉴定标准（IEEE standard for qualifying class 1E equipment for nuclear power generating stations）

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

状态指标 condition indicator

构筑物、系统或部件所具有的可被观察、测量或显示趋势的特征，可用于推断或直接表明该构筑物、系统或部件当前和未来在合格标准范围内运行的能力。

[NB/T 20063—2012，定义6.1.14]

3.2

状态监测 condition monitoring

对构筑物、系统或部件的性能或物理特性进行连续或定期的测试、检查、测量或趋势预测，以表明当前或未来的性能和发生故障的可能性。

3.3

设备鉴定 equipment qualification

通过分析、型式试验或运行经验获得的证据，证明在规定的运行条件 and 环境条件下设备能按规定的准确度和性能要求起作用。

[NB/T 20063—2012，定义6.1.11]

3.4

安全重要电缆 cable important to safety

属于某一安全组合的一部分和/或其失效或故障可能导致对厂区人员或公众的辐射照射的电缆。

3.5

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。

3.6

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运行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。

[NB/T 20063—2012，定义6.1.8]

3.7

使用寿命 service life

一个构筑物、系统或部件从初始运行到最终退役的时间。

[NB/T 20063—2012，定义6.1.10]

4 状态指标

4.1 概述

状态监测仅适用于安全功能降级和被监测部件的老化劣化之间存在明确关联性的设备。这种关联性应在设备鉴定过程中建立，同时应考虑到高加速因子的加速老化过程中所出现的限制性影响。

状态监测方法依据的是材料总体降质过程的可测量指标。为了测量部件的自然老化状况，需要以破坏的方式取样测量，或者在现场通过以无损的方式来测量。考虑到不影响设备的正常运行，优先采用无损测量方式，然而一般在现场采用这种测量方式时很难满足重复性和准确性的要求。

对于有机材料，一系列化学反应导致的老化可能使得设备的重要安全功能降级或失效，这些化学反应包括可导致聚合物结构改变的分子键断裂和交联。对于状态监测方法而言，应找到直接或间接的方式来跟踪这些反应。常用的状态监测方法分为如下几类，详细监测方法见本系列标准其他部分。

4.2 化学指标

第一类关键的指标是被监测材料的化学性质。有机材料的降质机理就是一系列的化学反应，在此期间，聚合物的化学结构发生了改变。老化过程中材料化学性质的改变为监测老化降质提供可能。对化学指标的监测技术有很多种，其中有一些是监测聚合物链自身的降解，另一些是监测降解相关的副反应。

4.3 物理指标

第二类关键的指标是被监测材料的物理性质。有机材料的降质体现在材料物理性质的变化上（如抗张强度，伸长率和硬度）。通过对这些物理特性进行测量，可以建立这些参数与材料老化情况的关联。

4.4 电气指标

第三类关键的指标是被监测材料的电气性能。这类技术中的很多方法是针对电气绝缘介质中的聚合物材料而开发的。这类技术可分为如下两种：

- a) 测量材料的介电特性；
- b) 监测系统正常运行时的电气响应。此种技术通过比较实测值与原基准值的差异实现，无论是由于老化还是物理损伤导致的，这些差异都可作为材料降质的迹象。

5 不同类型有机材料状态指标的适用性

目前还没有一种适用于所有有机或聚合物材料的状态监测方法，本标准的基本要求是状态指标应能敏感地反映设备老化效应。有效状态指标的重要特性是其在老化退变过程中显示出单调变化趋势，并且该趋势与安全相关性能是有关联的。长时间不变化然后突然发生剧变的指标并不适用于预测分析，比如半结晶材料（交联聚乙烯和热固性树脂等）的机械性能。

核电厂仪控设备中使用的不同聚合物材料的状态监测指标适用信息见NB/T 20087—2012的表D.1。

6 破坏性和无损状态监测

状态监测方法可以是破坏性的或无损的，区分的依据是材料的测量或取样是否对设备运行或未来老化产生影响。无损状态监测更适用于电缆的现场测量，因为电缆在现场较容易测试。其他情况下，一般是通过留样试样或者可替代试样来进行状态监测。

如果可用留样试样或部件可以更换，则可以考虑使用很多状态监测方法，包括破坏性的方法。在这种情况下，状态监测可以应用于老化材料（一般是指用于电气绝缘、密封等的有机材料）可获取的所有类型设备。

7 状态监测在设备鉴定和老化管理上的应用

7.1 概述

状态监测作为核电厂电缆鉴定和老化管理的重要部分，有以下一种或多种目的：

- a) 通过实验室模拟老化确定影响鉴定寿命的加速老化因子；
- b) 延长鉴定寿命；
- c) 建立鉴定状态；
- d) 定期评估设备安装后的状态，并与鉴定状态相对比。

状态监测也可用于确定设备中老化敏感材料的降质是否在允许范围内。

7.2 应用状态监测确定鉴定寿命

7.2.1 确定鉴定寿命

鉴定寿命是在实验室对样本进行加速老化后通过模拟设计基准事件进行功能验证确定的。加速因子指的是实验室模拟环境和正常运行环境下的降质速率比值。状态监测可用来确定热老化加速因子所需的活化能。

7.2.2 确定热老化加速因子

加速热老化下，加速因子 F 通常是由如下阿伦纽斯方程计算得出：

$$F = \frac{t_1}{t_2} = e^{\frac{E}{k} \left[\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right]} \dots\dots\dots (1)$$

式中：

- t_1 ——鉴定寿命的数值，单位为小时（h）；
- t_2 ——加速老化时间的数值，单位为小时（h）；
- E ——材料的活化能，单位为电子伏特（eV）；
- k ——波尔兹曼常数（ $0.8617 \times 10^{-4} \text{ eV/K}$ ）；
- T_1 ——正常使用环境温度的数值，单位为开尔文（K）；
- T_2 ——加速老化温度的数值，单位为开尔文（K）。

材料的活化能一般是通过某个确定的状态指标在不同温度下的时间来计算。一定降质程度下的温度和时间的数据点用阿伦纽斯图绘制，横坐标为温度（线性刻度），纵坐标为时间（对数刻度），如图1所示。

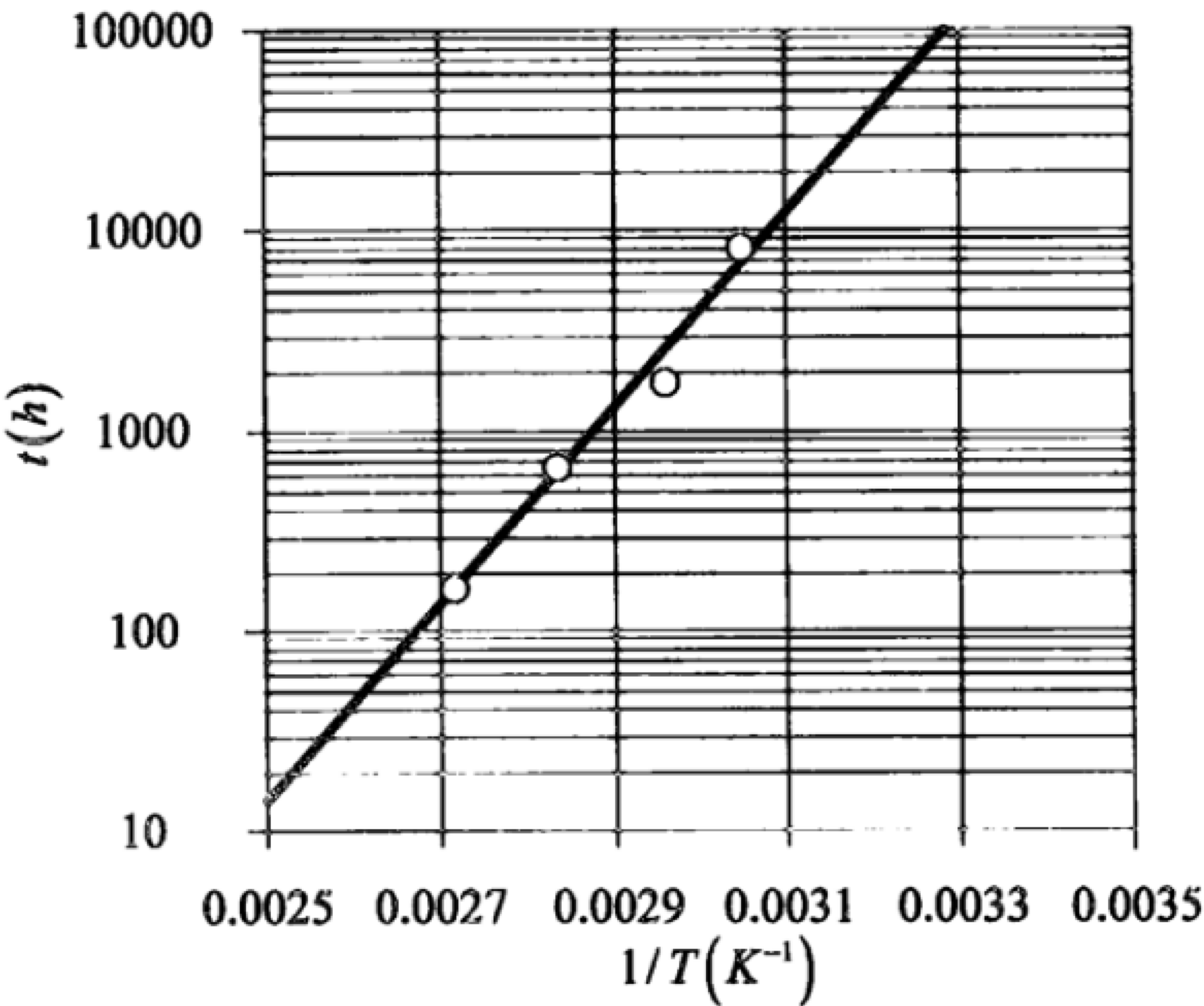


图1 阿伦纽斯图举例

两点之间的直线表明降质速率与温度之间存在阿伦纽斯关系，活化能 E 由直线的斜率计算得来。
加速因子和鉴定寿命对于活化能值是敏感的，活化能误差对基于测试（包括人工加速热老化）的加速因子和鉴定寿命会有明显的影响，图2说明了在测量活化能时状态监测方法的准确性和重复性的重要性。

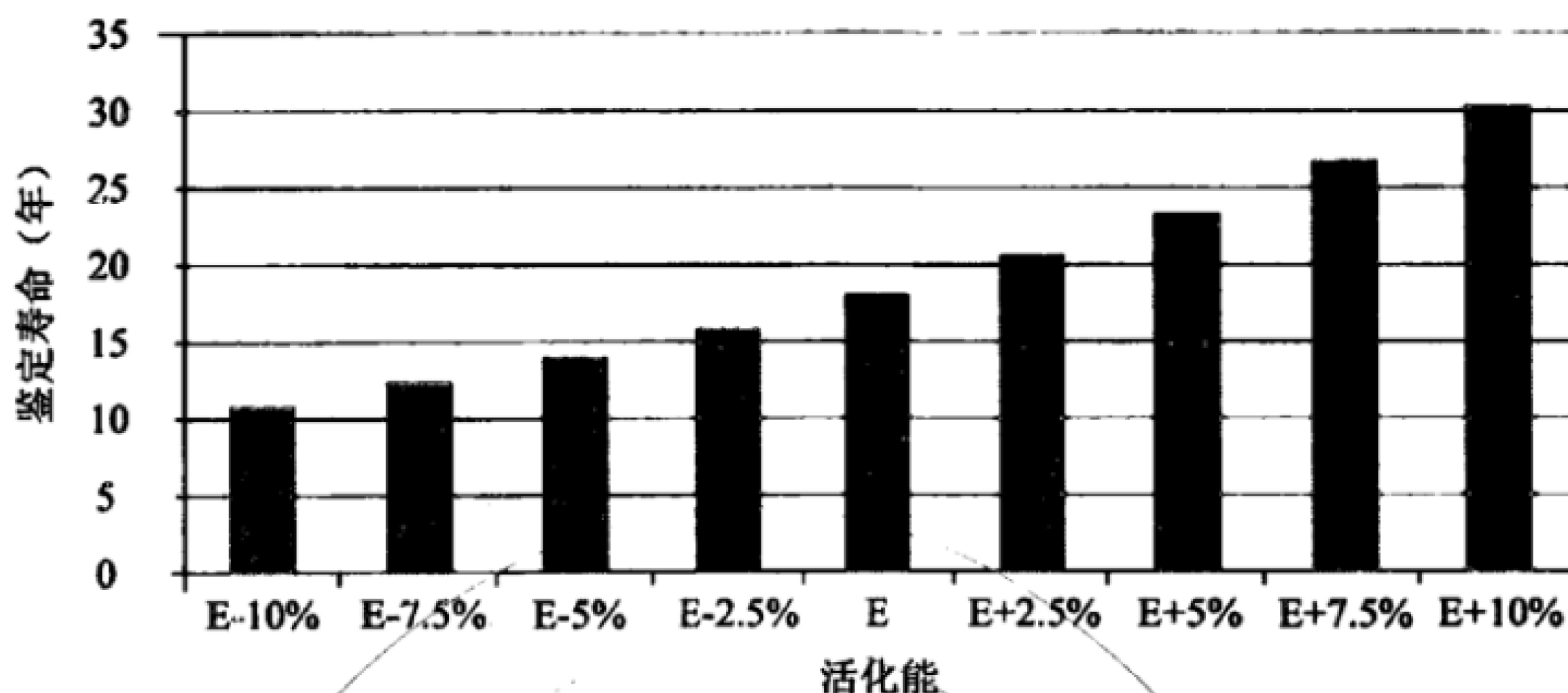


图2 42 d、110 °C下人工热老化和模拟设计基准事件计算得到的活化能对鉴定寿命的影响

注：正常运行温度为50 °C， $E=0.9\text{ eV}$

7.3 应用状态监测延长鉴定寿命

初始鉴定试验中确定的鉴定寿命一般偏保守，这是因为需要考虑到现场环境条件的不确定性、实验室下用于确定寿期的模拟老化加速因子的不确定性、性能合格证明的不确定性、商业产品的偏差、试验和测试设备的不确定性等。由于以上的保守性，以及实验室模拟老化中折中的加速因子和时间限制，初始的评估可导致预测的寿期与设计基准事件下可接受的使用寿命有较大差异。延长鉴定寿命的方法通常包括监测具有代表性的设备试样的状况。

7.4 应用状态监测来建立和评估鉴定状态

基于状态的鉴定（见GB/T 12727）可作为确定鉴定寿命的补充或替代。

基于状态的鉴定是基于适用状态指标值的确定。这些指标值应在老化试验末期、设计基准事件试验之前获取，其表征了鉴定状态。如果在老化期间获取了状态指标值随时间变化的趋势（例如在人工加速老化期间，测量每一个加速老化阶段的状态指标值），将明显提高采用基于状态的鉴定对评估鉴定寿命的补充或替代的作用。设备安装后，应定期测量具有代表性的试样的状态，并且与鉴定状态对比。基于状态鉴定的示意图见图3。

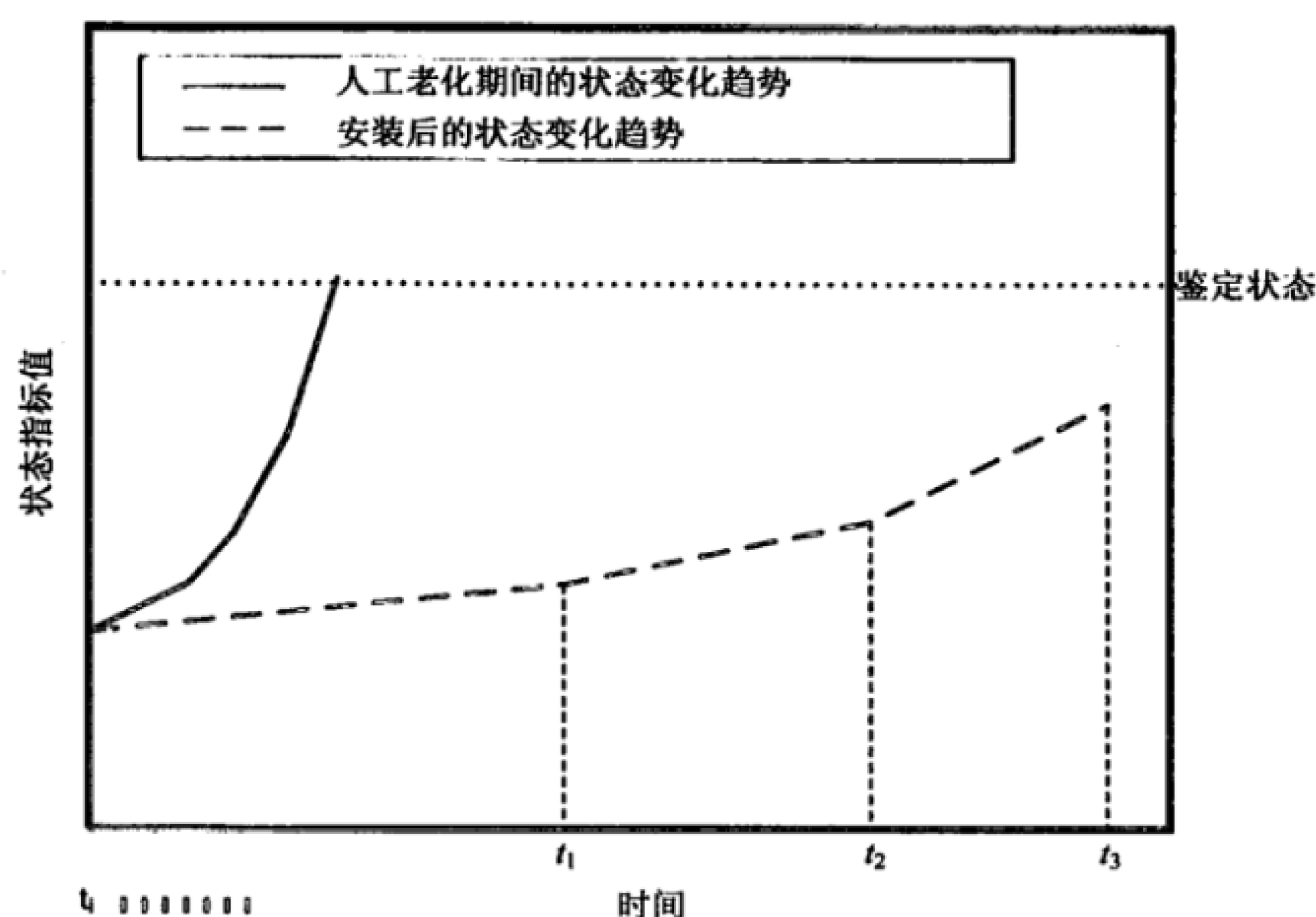


图3 基于状态鉴定的示意图

确定鉴定状态可以作为初始鉴定试验的一部分。如果初始鉴定试验仅以确定鉴定寿命为目的，并且没有包含状态监测，则后续得到鉴定状态可不重复设计基准事件试验。如果设备的相同试样是新的或者是储存在可控的环境下，则可重复初始鉴定试验中的老化试验，在老化末期（或者期间）测量合适的状态指标值得到鉴定状态。

设备安装之后的测量可能由原来建立鉴定状态之外的其他人员、设备和实验室完成，这就对状态监测方法、测量的记录文件以及重复性提出了更高的要求。能检测到状态指标值的细微变化非常重要，这就要求状态监测方法有很高的准确性。

7.5 应用基准数据

状态监测有助于评估降质的限值，若监测值未超出限值，则在运行工况与模拟的设计基准事件中，一般可认为功能不受显著影响。

在模拟设计基准事件已经被证实具有可用性的前提下，测得的状态指标值的数据有效性取决于监测方法的重复性、准确性以及状态监测是否被准确的规定和报告。

参 考 文 献

- [1] GB/T 20087-2012 核电厂安全重要仪控电缆老化管理指南
- [2] NB/T 20063-2012 核电厂仪表和控制术语
- [3] IEC 60544-5 Electrical insulating materials – Determination of the effects of ionizing radiation
Part 5: Procedures for assessment of ageing in service
- [6] IEC 60780 Nuclear power plants – Electrical equipment of the safety system – Qualification
- [7] IEC 62342 Nuclear power plants – Instrumentation and control systems important to safety –
Management of ageing
- [8] IEEE Std 1205 IEEE Guide for assessing, monitoring, and mitigating aging effects on Class 1E
equipment used in nuclear power generating stations
- [9] JNES-SS-0903: 2009 The final report of the project “*Assessment of cable ageing for nuclear power
plant*”. T. Yamamoto & T. Minikawa, Japan Nuclear Energy Safety Organisation, Nuclear Energy System
Safety Division
- [10] NUREG/CR-6704, Vol. 2 (BNL-NUREG-52610), Assessment of environmental qualification
practices and condition monitoring techniques for Low-Voltage electric cables, condition monitoring test
results

中 华 人 民 共 和 国
能 源 行 业 标 准
核电厂安全重要电缆状态监测方法
第 1 部分：总则

NB/T 20421.1—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 25.00 元