



# 中华人民共和国国家标准

GB/T 20112—2006/IEC 60505:1999

---

## 电气绝缘结构的评定与鉴别

Evaluation and qualification of electrical insulation systems

(IEC 60505:1999, IDT)

2006-02-15 发布

2006-06-01 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
引言 .....	IV
1 范围 .....	1
2 规范性引用文件 .....	1
3 术语和定义 .....	1
3.1 一般术语 .....	1
3.2 与运行应力和老化相关的术语 .....	2
3.3 与试验相关的术语 .....	3
4 老化——概述 .....	4
5 评定方法的制定 .....	6
5.1 制定评定方法的要素 .....	6
5.2 现有评定方法的有效性 .....	7
6 鉴别 EIS 的功能性评定方法 .....	7
6.1 一般考虑 .....	7
6.2 评定规程的分类 .....	7
6.3 实际考虑 .....	8
7 功能性老化试验 .....	9
7.1 试品 .....	9
7.2 试验条件 .....	9
7.3 EIS 运行寿命的确定 .....	10
8 老化 .....	10
8.1 概述 .....	10
8.2 老化机理的评估 .....	10
8.3 加速老化 .....	11
8.4 应力水平 .....	12
8.5 分周期的时间和数量 .....	13
8.6 老化分周期 .....	13
9 预诊断处理 .....	13
10 诊断 .....	13
10.1 诊断试验——终点标准 .....	13
10.2 附加的特定试验 .....	14
11 数据分析 .....	14
11.1 概述 .....	14
11.2 运行经验 .....	14
11.3 电 .....	14
11.4 热 .....	14
11.5 机械 .....	14
11.6 环境 .....	14

11.7 多因子 .....	14
12 试验报告 .....	14
13 EIS 代码 .....	15
附录 A (资料性附录) 检查清单 .....	16
附录 B (资料性附录) 流程图 .....	19
参考文献 .....	27

## 前 言

本标准等同采用 IEC 60505:1999《电气绝缘结构的评定与鉴别》(第二版,英文版)。

本标准在技术内容上与 IEC 60505:1999(第二版,英文版)无差异。为便于使用,本标准作了下列编辑性修改:

- a) 删除了国际标准的前言;
- b) 第 2 章中“IEC 60216:(所有部分),确定固体有机材料的耐热性”改为“IEC 60216(所有部分)确定电气绝缘材料耐热性的导则”;
- c) 删除第 2 章中“IEC 60216-3”段末的脚注;
- d) 删除 11.6 和 11.7 中的“附录 C 提供更多的信息。”(因原 IEC 60505 中无附录 C);
- e) 把参考文献中的“IEC 60085”改为“GB/T 11021”(eqv IEC 60085:1984)。

本标准中的附录 A 和附录 B 是资料性附录。

本标准由中国电器工业协会提出。

本标准由全国旋转电机标准化技术委员会(SAC/TC 26)归口。

本标准负责起草单位:上海电器科学研究所(集团)有限公司。

本标准参加起草单位:广州电器科学研究所、上海电缆研究所、南阳防爆电气研究所、上海电动工具研究所、浙江金龙电机股份有限公司、吴江市巨峰漆业有限公司。

本标准主要起草人:朱玉珑、张生德、邵爱凤、陈斌、包海蓉、王达昱、陆顺平、叶锦武、徐伟宏。

本标准为首次制定。

## 引 言

电气设备的运行寿命通常由其电气绝缘结构(EIS)的寿命来确定。EIS 的寿命受电、热、机械、环境应力单一作用或综合作用的影响。

预期、估计或已证明的运行寿命时间是用来描述 EIS 寿命的基本参数。在电气工程的早期,寿命图是很含糊的。绝缘在热应力下的寿命限值是一些运行中设备老化效应的主要指标之一。随着 EIS 使用经验的增加,已认识到有必要选用满足制造工艺要求的特定材料,以能达到所需运行寿命并便于预测设备的耐热能力。

IEC 60085 把许多最高工作温度值标准化,并列出相应温度(等级)的绝缘材料,这些温度等级为 EIS 所用时将“确保大范围设备的绝缘具有经济的寿命”。

目的很明确,即以(运行)经验或试验并按时间量化绝缘结构寿命为基础来鉴别绝缘结构。已公认完全基于热应力的方法的局限性,并要求改进寿命概念。当许多正在生产的新合成材料不是十分符合现有的热分级时,改进寿命概念的要求,和不可能每次都使用 IEC 60085 中材料表的情况,促使全世界共同努力来改善局面。这就要努力完善本标准,本标准为对设备负责的 IEC 技术委员会(ETC)制定满足要求的标准和技术文件的导则。

开发和设计 EIS 时确定预期寿命是基本任务。必须确定 EIS 估计运行寿命的理由是:

- 新 EIS 投产时的型式试验;
- 生产的质量保证;
- 维护时估计剩余寿命。

# 电气绝缘结构的评定与鉴别

## 1 范围

本标准确立了评估电气绝缘结构(EIS)在电、热、机械、环境应力条件下或多因子应力条件下老化的依据。

本标准规定了为确定特定绝缘结构预期运行寿命而制定 EIS 功能性试验和评定的规程时应遵循的原则和程序。

本标准适用于对含有 EIS 的设备负责的所有 IEC 技术委员会(ETC)。

## 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。

IEC 60216(所有部分) 确定电气绝缘材料耐热性的导则

IEC 60216-3 电气绝缘材料 耐热性 第3部分:耐热特性的计算指南

IEC 60493-1 老化试验数据的统计分析导则 第1部分:基于正态分布试验结果平均值的方法

IEC 60727-1 电气绝缘结构耐电性的评定 第1部分:一般考虑和基于正态分布的评定规程

IEC 60727-2 电气绝缘结构耐电性的评定 第2部分:基于极值分布的评定规程

IEC 61356 电气绝缘结构的功能性评定 对比试验不可行时的试验规程原则

## 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本标准。

### 3.1 一般术语

#### 3.1.1

**电气绝缘结构 electrical insulation system(EIS)**

用于电气设备的与导电部分结合在一起的含有一种或多种电气绝缘材料(EIM)的绝缘组合。

#### 3.1.2

**电气绝缘材料 electrical insulating material(EIM)**

EIS 中承受电应力的组分。

#### 3.1.3

**基准 EIS reference EIS**

以已知运行经验的记录或公认的对比功能性评定为基础进行评定并确定了 EIS。

#### 3.1.4

**待评 EIS candidate EIS**

为确定运行能力(电、热、机械、环境或多因子)在评定中的 EIS。

#### 3.1.5

**预期寿命 intended life**

运行条件下 EIS 的设计寿命。

3.1.6

**估计寿命 estimated life**

如负责机构或技术委员会确定的,根据运行经验或(和)按适合的评定规程求得的试验结果所得到的期望运行寿命。

3.1.7

**评定 evaluation**

确定运行要求和寿命数据之间的关系,寿命数据可根据运行经验分析或功能性试验结果得到。

3.2 与运行应力和老化相关的术语

3.2.1

**“老化”应力 “ageing”stress**

电、热、机械或环境因素对 EIS 的作用,可引起其性能变化。

3.2.2

**影响因子 factor of influence**

由运行、环境或试验的条件所产生的影响 EIS 寿命的应力。

3.2.3

**运行条件 service conditions**

电气设备特定应用中预期的影响因子和工作制的组合。

3.2.4

**基准运行条件 reference operating conditions**

设备的运行条件,功能性试验规程的试验条件与其有关。

3.2.5

**运行要求 service requirements**

电气设备的规定影响因子、预期性能和工作制。

3.2.6

**运行经验 service experience**

运行期间 EIS 无论失效与否的定量记录和/或定性记录。

3.2.7

**老化 ageing**

由于一个或多个影响因子作用而引起的 EIS 性能的不可逆变化。

注:若环境条件变化,则某些变化(例如水解变化)可能部分可逆。

3.2.8

**老化因子 ageing factor**

引起老化的影响因子。

3.2.9

**内在老化 intrinsic ageing**

由老化因子作用引起的 EIS 基本性能的不可逆变化。

3.2.10

**外在老化 extrinsic ageing**

老化因子对 EIS 中非本征缺陷作用引起的 EIS 性能不可逆变化的效应。

3.2.11

**相互作用 interaction**

与影响因子单独作用于独立试样时的老化效应相比,两个或以上影响因子综合作用引起的老化类

型或老化程度的变化。

### 3.2.12

#### **直接相互作用 direct interaction**

影响因子同时施加时产生的相互作用,与影响因子按序施加时相比有差异。

注:产生直接相互作用的所有因子未必是老化因子。

### 3.2.13

#### **间接相互作用 indirect interaction**

影响因子同时施加时产生的相互作用,与影响因子按序施加时相比无差异。

## 3.3 与试验相关的术语

### 3.3.1

#### **功能性试验 functional test**

能得到 EIS 在规定条件下适应能力信息的规程。

### 3.3.2

#### **试品 test object**

用于功能性试验的含 EIS 的原设备、设备的模型、组件或部件。

### 3.3.3

#### **加速老化 accelerated ageing**

影响因子施加的水平或/或频率高于正常运行条件所产生的结果。

### 3.3.4

#### **加速试验 accelerated test**

为缩短试验时间采用加速老化的功能性试验。

### 3.3.5

#### **预诊断处理 prediagnostic conditioning**

在诊断试验之前给 EIS 施加可变或固定的应力。

### 3.3.6

#### **诊断因子 diagnostic factor**

为确定 EIS 老化程度所施加的可变或固定的应力。

### 3.3.7

#### **诊断试验 diagnostic test**

给试品周期性地施加规定水平的诊断因子以测定是否已达到终点标准。

### 3.3.8

#### **终点标准 end-point criterion**

功能性试验中用来定义 EIS 终点寿命的性能或性能变化的选定值。

### 3.3.9

#### **“试验”周期 “test”cycle**

按序或同时施加的一个或多个影响因子和诊断因子周期性地反复施加于 EIS 的时间跨度。

### 3.3.10

#### **分周期 subcycle**

施加影响因子和诊断因子的整个周期中的规定分段。

### 3.3.11

#### **监控试验 monitoring test**

为确定老化对试样连续施加和测量规定水平的诊断因子。



#### 4 老化——概述

老化被定义为由于一个或多个影响因子作用引起的 EIS 性能的不可逆变化。老化应力既可引起内在老化也可引起外在老化。在大多数 EIS 中外在老化占主导地位,因为实际上,EIS 包含某些缺陷和污染物。图 1 为老化基本过程的示意图。

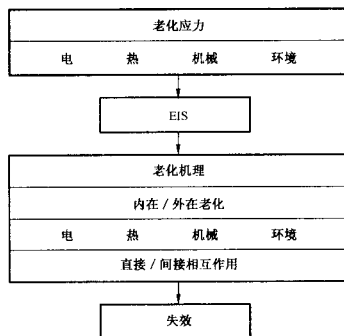


图 1 EIS 的老化

在许多类型的电气设备中,EIS 中污染物的类型、级别和/或缺陷程度将严重影响运行性能。通常,EIS 中的污染物和/或缺陷越少、越不严重,设备的性能就越好。为了避免从功能性试验得到错误结果,待评 EIS 应尽可能包含实际绝缘结构运行时预期的所有污染物和/或缺陷。

电、热、机械或环境老化因子最终导致 EIS 失效。老化期间,施加的应力起初并不能影响 EIS,但它能变成老化因子,最终改变了降解速率。

当老化由一个老化因子起主导作用时,就称之为单因子老化。当一个以上老化因子充分影响 EIS 性能时就发生多因子老化。老化因子能协同作用,也就是说,应力之间会产生直接相互作用。相互作用可正可负。

实际 EIS 的老化是复杂的,失效通常由老化机理综合作用引起,即使只有一个主导老化因子,例如单因子老化。

当特定 EIS 的运行经验或现有知识有限时,设备技术委员会(ETC)应决定其特定设备或电器是否适用单因子或多因子试验规程。

功能性评定试验应包括运行时发生的所有老化机理的理想重复。由于不能充分了解或理解特定老化机理发生时的条件,实际上常常很难做到这一点。几种老化机理可同时发生或按序发生。

例如,假定 EIS 经受电(E)、热(T)、机械(M)和环境(A)应力,如图 2 所示。开始时,步骤 A 期间,发生电老化,引起介质损耗增大,并导致绝缘的一处或多处局部温度升高。在这些温度较高的区域,环境和热应力成为老化因子,并加速绝缘的化学变化(步骤 B)。然后化学变化作用使总的老化速率增大或减小;如图 3 所示例子。当受影响的绝缘机械性能已劣化到与机械应力相关的临界水平时,就开始产生局部裂纹(步骤 C)。随后,这些裂纹达到临界尺寸时,就会发生局部放电,并最终导致完全失效(步骤 D)。如图 3 所示可知,老化与时间不呈线性关系。

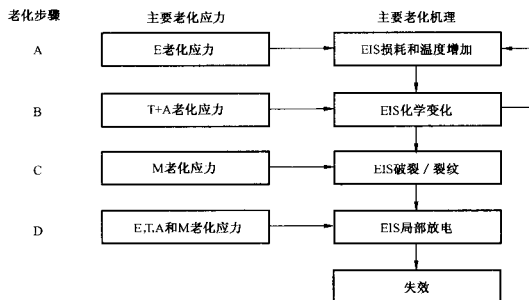


图 2 以时间为函数的可能的老化机理示例

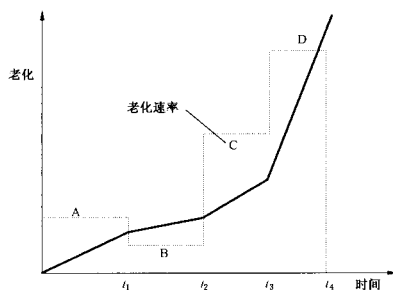


图 3 图 2 的老化时间曲线

或者,如图 4 所示,步骤 B 中的化学变化能进一步增大介质损耗并导致温度迅速升高,引起局部熔化。因而,步骤 C 期间,机械强度的丧失足以引起失效。老化/时间特性如图 5 所示。

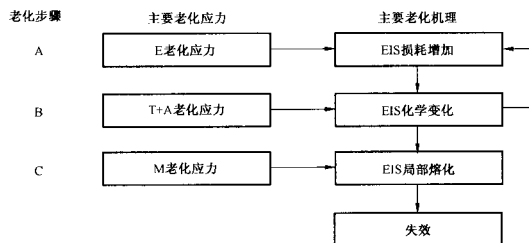


图 4 以时间为函数的可能的老化机理示例

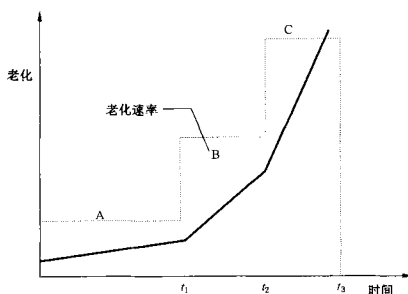


图5 图4的老化时间曲线

这两个多因子老化的例子在功能性试验中是难以重复的。

试验条件的选择并不总能使老化各阶段的持续时间比例相同,在运行条件下,极端情况时能引起通常观察不到的其它失效模式。当根据功能性试验预测 EIS 的运行寿命时这会造成显著误差。

## 5 评定方法的制定

### 5.1 制定评定方法的要素

制定 EIS 评定方法需要仔细考虑要素(见图 6):

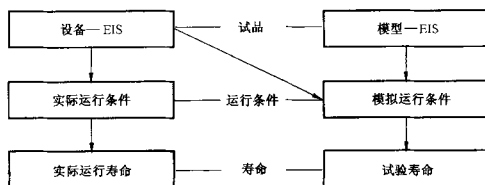


图6 制定评定方法的要素

#### 5.1.1 试品

EIS 试品可以是原电气设备的一个组件或部件或其模型。通常,有关 EIS 的最大技术信息量是很有利的,因为制备 EIS 模型时可能需要这些信息。

#### 5.1.2 运行条件

含有 EIS 电气设备的运行条件应已知,可从以下方面得到:

- 为特殊运行条件(包括环境和工作制)设计新设备和/或新 EIS 时指定的应力值;
- 经运行证明的待评 EIS 的运行记录;应力水平可由应力间隔或报告的最大应力限值来规定,最大应力限值与表明应力—时间关系的工作制符号相关;
- 在运行记录的基础上已鉴别的基准结构的已知运行条件,并通过可比或甚至等同的运行条件下的平行功能性试验对比基准 EIS 和待评 EIS。

注:与运行条件下的老化机理相比,加速试验要求具有等同或等效的老化机理。

#### 5.1.3 寿命值

寿命值与 EIS 本身及运行条件有关,是评定的主要目的。应以下述变量之一来表征寿命值:

- EIS 失效时的运行时间(终点寿命);

- b) 未失效的运行寿命；
- c) 加速试验或非加速试验的 EIS 至终点标准的功能性试验寿命。

注：确定任一结构的失效速率是推导结构可靠性的基础。

## 5.2 现有评定方法的有效性

ETC 可评估现有的试验方法，并按 5.1 提供与其设备的相关关系。并且，ETC 应负责证明现有试验方法不符合本标准原则时的有效性。

## 6 鉴别 EIS 的功能性评定方法

### 6.1 一般考虑

确定功能性评定方法的程序必须从技术上和运行方面考虑与引入 EIS 和运用确定寿命的老化机理相关的问题。使用者要求规定程序实用，并应尽可能简单，但不能忽视基本要求。经济性方面要求有成本效益，意味着要完成特殊情况下 EIS 的评定任务，例如用特别简化的判断标准稍作变动后评定经运行证明的 EIS。下文的子条款叙述评定方法的规定步骤。

### 6.2 评定规程的分类

根据对待评 EIS 的评定提供必要数据的来源，可把评定规程分为三类(见图 7)。

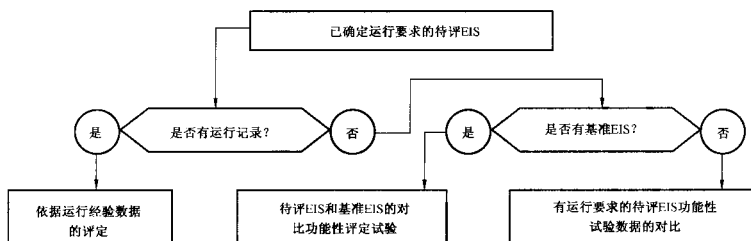


图 7 评定规程的分类

#### 6.2.1 依据运行经验数据的评定

评定时优先采用运行条件、无失效或至失效的运行时间、维护结果等的运行记录。

检查清单表 A.1 是收集运行数据的表格。检查清单可根据设备和 EIS 的特定类型进行增减。

运行记录的侧重点因代表制造商或设备用户、检测机构、保险公司等的记录人员而异。

运行经验数据应包括 EIS 承受的所有相关运行条件。定量处理的数据应限于极相近的结构。

实际上不一定总能报告精确的数字资料。这种情况下，考虑到信息的局限性，宜使用运行经验方面的所有可用信息，这些信息能提供相关方面的真实评估。

在运行记录的基础上鉴别过的 EIS 就可作为对比功能性试验的基准 EIS。

#### 6.2.2 待评 EIS 和基准 EIS 的对比功能性评定

若基准 EIS 已由基于运行经验或功能性试验的功能性评定进行鉴别过，则首选本方法。待评 EIS 和基准 EIS 要经受相同的或对应的老化处理，并采用相同的诊断试验来检查结构的状况。

#### 6.2.3 有运行要求的待评 EIS 功能性试验数据的对比

若既无基准 EIS，也无运行经验，则待评 EIS 要进行试验以检验是否符合明确规定的一组运行要求。

假设采用新的 EIS(新 EIS、新设备、新运行条件)，则可使用本方法。功能性试验宜满足约定的运行要求，并能证明 EIS 有能力满足所需寿命。(见 IEC 61356。)

## 6.3 实际考虑

## 6.3.1 试品的选择

试品的选择能影响试验结果,也将影响功能性评定的费用。图 8 的流程图给出了选择标准。

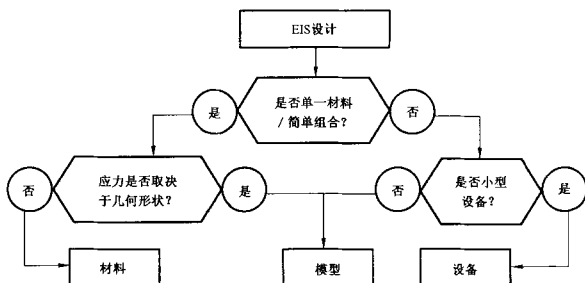


图 8 试品的选择

用设备还是用模型进行功能性试验将取决于试品的尺寸和其他实际的考虑。若“简单”EIS 包含单一 EIM 或简单材料组合,并且应力分布不受绝缘部件的形状或尺寸约束,则可采用合适的 EIM 耐久性试验求得 EIS 寿命。ETC 应决定该简化规程何时适用。

检查清单表 A.2 汇总了 EIS 的技术特性。

## 6.3.2 实验性试验规程

无论有无基准 EIS,功能性试验中试品以经受规定的老化应力程序(通常为应力周期)来模拟运行中的老化过程。周期性施加诊断规程以确定进程。试验的复杂性确定了所需的试验工作和费用。图 9 的流程图指出三种不同类型的试验,工作量从左到右增加。终点标准为老化因子的数量、试品和影响因子之间可能的相互反应。

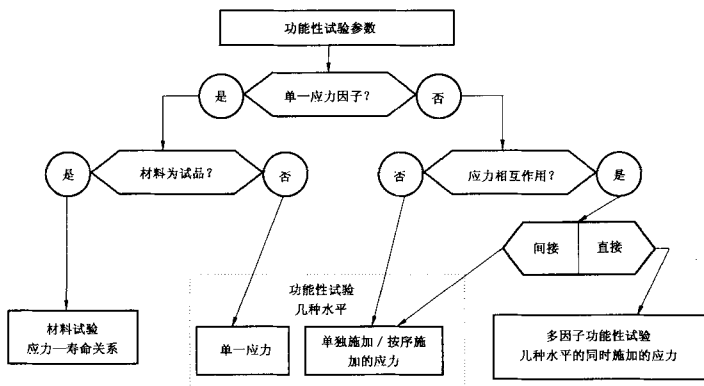


图 9 确定试验方法

检查清单表 A.1 用于汇总讨论中 EIS 的实际运行条件或所需运行条件的相关数据。功能性试验期间最佳模拟的运行条件将考虑这些资料。本表格便于对比运行要求和经验。

### 6.3.3 标准化操作的结论

图 7、图 8 和图 9 将有助于 ETC 在开始制定 EIS 评定标准之前决定应考虑的情况。

可能的情况是：

- a) 运行经验数据可用于直接评定；这种情况要求明确表达关于必要信息的特殊规则及其分析方法；
- b) 绝缘材料的简化寿命试验；当现有的材料试验规程适用于待评 EIS 时；
- c) 设备的模型或部件作为试品进行的对比功能性试验；为确定适合的试验类型，要求分析模拟运行条件下的老化机理。

原则上，在没有详细了解老化机理时，能进行对比功能性试验。功能性试验的基本要素是了解作用的运行应力及其正确的模拟以及和保持等效的老化效应。

## 7 功能性老化试验

### 7.1 试品

#### 7.1.1 试品的结构

试品应是体现 EIS 的完整单元或其结构足以代表被评的加工完毕的组件构成。所有试品应按通常的或预期的生产过程进行加工。若使用待评 EIS 的组件运行时有会影响老化过程的机械附件，则试品就应模拟这种情况。设计的试品应能耐受老化分周期和诊断分周期期间所施加的应力水平。

内含几个导电组件的试品，老化分周期或诊断分周期期间电应力将施加于这些导电组件之间，试品的设计和结构应能检验老化效应。

#### 7.1.2 试品的数量

若可行，至少应有五个试品进行老化试验，承受评定程序中包含的电、热、机械、环境的单因子或多个因子应力的综合作用。

注：为了获得有效的统计结果，至少要有 5 个试样达到终点标准。

#### 7.1.3 质量保证试验

在开始第一个老化分周期之前，应对所有的试品进行外观检查和所有正常的产品质量保证试验。

#### 7.1.4 预处理分周期

若适合，试品应进行预处理以较好地模拟 EIS 运行时的状况。

#### 7.1.5 初始诊断试验

在开始第一个老化分周期之前，每个试品都应进行评定规程选用的诊断试验。

#### 7.1.6 基准绝缘结构

基准 EIS 应采用和待评 EIS 相同的试验规程，在同一实验室使用相同类型的试验设备进行试验。基准 EIS 的性能应根据典型运行条件下的运行经验或基准运行条件范围内适合的功能性试验来确定。

## 7.2 试验条件

### 7.2.1 连续试验和周期试验

若由老化应力水平下的或连续施加诊断应力引起的电性能失效时间，或机械性能失效时间，或击穿时间给定终点标准，则功能性试验可作为连续老化试验来进行。或者，固定时间试验后进行击穿试验或其他诊断试验也是合适的。

普遍适用的周期寿命试验由按顺序重复的各老化和诊断分周期组成。功能性试验的顺序允许施加单因子或多个因子老化试验，各老化因子和机理间的未预期干扰应降至最小。

### 7.2.2 试验应力、老化因子和诊断因子的水平

试验应力状况应考虑到 EIS 设计的运行时最严酷的综合应力状况。这种状况不一定发生在各个应力最大值时。评定规程应明确规定基准运行条件，而诊断因子的水平和类别应与基准运行条件有关。

老化分周期的应力水平应经过选择，因此老化机理与正常运行时相比不会有显著差异。当不显著

改变老化机理时允许增加应力水平。

优先采用多因子老化试验,因为多因子老化试验最大程度上模拟了正常运行。当不采用该规程时,宜采用按序进行的分周期或单一应力分周期规程。

需要时,在老化分周期之后应进行条件处理分周期和诊断分周期。诊断试验期间试样任何部分的失效形成整个结构的失效,并应照此报告。在确认老化试样状况时应采用电应力作为主要诊断因子。在低压设备中经常需要包括一个预诊断规程以保证用作诊断因子的电应力有助于检查出老化周期期间产生的弱点。

### 7.3 EIS 运行寿命的确定

根据模拟运行条件的功能性试验确定的 EIS 寿命是估计的 EIS 运行寿命。施加提高水平的试验应力可加速老化过程,从而减少试验时间。

#### 7.3.1 寿命试验结果的外推

利用至少在三个提高的应力水平下进行的试验所得到的结果,允许把应力—寿命—函数外推到预期运行应力的范围。若可能,最佳外推应选择应力—寿命—函数图坐标,就能得到线性的应力—寿命图。外推程度在时间对数图的时间标尺上不应超过两个数量级。

电老化和热老化的寿命数学公式定律分别见 8.3.1 和 8.3.2。

#### 7.3.2 寿命试验数据的对比

待评 EIS 和基准 EIS 的有效对比试验要求两种结构都按 7.3.1 进行试验。对比这些试验结果时,若待评 EIS 在规定应力水平下得到的寿命在实际意义上不比基准 EIS 的低,就可认为待评 EIS 是可接受的。

这将证明该声明是正确的:“待评 EIS 在规定条件下的期望运行寿命等于或长于基准 EIS 的经验运行寿命”。

## 8 老化

### 8.1 概述

在制定一个试验规程之前,相关 ETC 应明确老化机理及其对于含有待评 EIS 的那种设备或仪器的重要性。下文的规程大纲能帮助理解定义的重要因子。

### 8.2 老化机理的评估

附录 B 给出了四种流程图,即图 B.1、图 B.2、图 B.3 和图 B.4,分别详细描述了 EIS 内在、外在的电、热、机械和环境老化。每个流程图都以不同种类 EIS 的运行经验为基础,表示了各种老化和老化因子之间相互作用可能发生的劣化和失效机理。虽然流程图表示了几种失效机理,但仍不能详尽表示所有设备在实际运行条件下可能发生的老化机理。值得注意的是导致最终失效的老化通常由多种老化机理引起。

流程图应被用来:

- 作为确定设备和电器老化机理的检查清单;老化机理能够按序发生或同时发生;
- 制定功能性老化试验、加速老化试验或试验周期;所施应力的大小、类别和持续时间将取决于老化机理是如何受其影响的;
- 制定适合的诊断试验或试验周期以评估 EIS 的状况。

ETC 应在了解正在研究中 EIS 的运行经验、运行条件和组分性能的基础上,选择表示主要老化因子的一个或多个流程图。应认真检查引起失效的各种老化机理,考虑 EIS 中污染物和缺陷的程度。作为制定功能性老化和诊断试验周期的补充,应提出仅包含相关老化机理的修改图。典型例子如图 B.5 至图 B.8 所示。

若运行经验和/或可能的老化机理的可用信息不充分,则老化条件宜以 EIS 设计的运行中所预期的最严酷水平应力为准。

### 8.3 加速老化

#### 8.3.1 电老化(见图 B.1)

电老化(交流、直流或冲击电压)包含:

- a) 当邻近 EIS 或 EIS 内的液态或气态介质的局部场强超过击穿强度时的局部放电效应;
- b) 电痕化效应;
- c) 树枝化效应;
- d) 电解效应;
- e) 与上述有关的、作用在两种绝缘材料相邻表面的效应,在相邻表面可能产生相对较高的切向电场强度;
- f) 高介质损耗引起温度升高的效应;
- g) 空间电荷效应。

图 B.1 表示电应力为主要老化因子时的内在/外在电老化。以在两个平行平板导体间嵌入绝缘材料所构成的简单 EIS 为例。已知导体表面有突起物,以及绝缘内可能包含杂质(如尘埃等)。现在图 B.1 可被简化成图 B.5 所示的流程图,表示引起电树枝的电荷注入是主要的老化机理。因此宜使用增加电荷注入的老化因子(比如高压)进行加速老化,并且宜把诊断试验设计成能测定注入电荷的效应和/或局部放电特性。

在许多实际 EIS 中,引起失效的电老化过程是复杂的,如图 B.5 所示。还没有制定出严格的数学模型能充分预计老化因子如何影响 EIS 寿命。然而,经验关系即负幂模型常用来表述交流电应力与寿命间的关系,这表示:

$$L \propto V^{-n}$$

式中:

$L$ ——寿命;

$V$ ——电压;

$n$ ——电压寿命指数。

负幂定律模型预测出绘于双对数坐标图上的寿命和电压间的线性关系。也可使用其它模型(见 IEC 60727-1)。

加速老化分周期采用的电应力水平应至少以两个相同的老化时间间隔为基础。老化程序宜采用最低加速应力水平,至少使试品在待评结构预期寿命的 5% 之后达到失效点。宜从寿命曲线的斜率和形状求得下一个较高的应力水平。

注:若无足够的数据用来确定最低加速应力水平,则可用合适的筛选试验来测定应力值。

也可用比正常运行时高的高频试验来加速电老化。频率的增加对待评结构和基准结构的作用应已证实是相似的。

#### 8.3.2 热老化(见图 B.2)

热老化包含:

- a) 作为化学降解反应、聚合、解聚、扩散等的结果而进行的化学和物理变化;
- b) 由于热膨胀和/或热收缩的力所引起的热机械作用。

化学和物理过程趋向热力平衡的速率增加是热老化的主要原因。化学反应遵循阿仑尼乌斯方程式,表示为:

$$L = A \exp(-E/kT)$$

式中:

$L$ ——寿命;

$A$ ——常数;

$E$ ——活化能;



$k$ ——波尔兹曼常数；

$T$ ——绝对温度。

根据寿命的对数— $1/T$  坐标绘出的曲线外推出某特定温度下的寿命。详见 IEC 60216。

宜从表 1 所示的老化温度选择被评 EIS 的温度。为了产生快速老化,应选择至少三个较高温度的试验。选择的最低温度宜使待评绝缘结构至少在预期运行寿命的 5% 之后达到失效终点。选择的另两个较高温度应间隔 20 K。若需要三个以上试验温度,则可用 10 K 的间隔。优先选用表 1 列出的老化温度。

注: 试验已证实, 温度每上升  $X$ , “寿命”就减半。对于多数 EIS,  $X$  的变化范围为 8 K~15 K。

对于某些 EIS, 最高试验温度应低于相关转变点(如熔点、沸点等)。

表 1 老化温度

运行温度/ ℃	55	75	90	105	120	130	155	180	200	220	250
(温度等级)			(Y)	(A)	(E)	(B)	(F)	(H)			
老化温度/ ℃	135	155	170	185	200	210	235	260	280	300	330
	125	145	160	175	190	200	225	250	270	290	320
	115	135	150	165	180	190	215	240	260	280	310
	105	125	140	155	170	180	205	230	250	270	300
	95	115	130	145	160	170	195	220	240	260	290
	85	105	120	135	150	160	185	210	230	250	280
	75	95	110	125	140	150	175	200	220	240	270

### 8.3.3 机械老化(见图 B.3)

机械老化包含:

- 由大量低水平的应力周期引起的绝缘组分疲劳失效;
- 热膨胀和/或热收缩引起的热机械作用;
- 高水平机械应力(如外部力量或设备的运行条件)引起的绝缘破裂;
- 设备组件之间相对运动引起的磨损;
- 在电、热或机械应力下的绝缘蠕变或塑变。

注 1: 这些现象是局部的, 并不是均匀分布于整个绝缘体内。

有限的可用数据表明机械应力/寿命关系遵循负幂定律, 也就是说机械应力和寿命的双对数坐标图是线性的。另外, 增加应力施加的频率已证实相关性是有效的。但是, 使用太多的频率能导致实际上不可能发生的其它失效机理。采用强制相等间隔的应力施加于试样时应使用线性关系, 有证据表明这是可以接受的。若可行, 至少应在三个机械应力水平下进行试验。最高应力水平应是最严酷的运行机械应力条件。

注 2: 目前尚无更多的机械应力试验水平的选择指南可用。

### 8.3.4 环境老化(见图 B.4)

环境老化包含在热老化中提及的化学反应过程。环境因子也能以不同方式影响 EIS 承受的其他应力所引起的降解的类别和程度。其他重要方面是由于环境变化而使应力重新分布以及灰尘和其它污染对电气性能的影响。在获得这些资料之前, 唯一可采用的规程是在老化分周期期间施加最严酷的运行环境条件(也就是使用设计水平)。

注: 目前, 加速因子与环境老化间相关性的一般规则尚未形成文件。

### 8.4 应力水平

老化分周期应模拟运行时将施加的应力。当评估 EIS 时, 应力间的相互作用可能是显著的并将影响运行寿命。当明确加速条件下将施加的应力的时间表时, 应力间的相互作用可能使评定过程无效。

在决定一个老化程序之前,必须进行加速的单一应力或综合应力筛选试验以判断这些相互作用的显著性。若已确认或从别的相关评定程序中获知存在直接相互作用,则老化分周期应由同时施加的应力组成。

### 8.5 分周期的时间和数量

当采用周期试验时,周期时间、应力曝露和预期运行应力之间的关系应是合理的。建议每个应力曝露的老化周期时间应大约是本次试验试品期望平均寿命的十分之一。应由 ETC 为其特定设备确定老化应力值。施加应力的时间和/或大小应考虑到可用试验设备的最佳使用。

### 8.6 老化分周期

#### 8.6.1 单因子应力

在这些分周期中试品每次仅曝露于一个因子。这些分周期中的老化因子就是运行时单独或同时(见 8.6.2.1)作用的基准运行条件中的那些老化因子,不含产生直接相互作用的其他同时作用的老化因子。若已知同时作用的老化因子仅产生间接相互作用,则每个同时作用的老化因子也可在单因子老化分周期中施加。

#### 8.6.2 多因子应力

若应力间的相互作用是直接的,如可能,这些老化因子应同时施加。在分周期中,应对试品同时施加两个或以上的老化因子。

注:目前,加速因子与多因子老化间相关性的一般规则尚未形成文件。

#### 8.6.2.1 按序施加的

若应力间的相互作用是间接的,则这些因子可按序施加而不是同时施加。如可行,允许选择每个老化因子的应力水平使加速相同,并且施加的持续时间应相同。

#### 8.6.2.2 复杂顺序施加的

电器或设备除了均匀施加一个或多个应力所引起的老化之外,运行条件还包括短时增强应力或随时间变化的应力水平,则应采用复杂老化分周期。这些周期的设计应包括正确的附加应力比例,例如电应力(如脉冲)、热应力(如冷循环)或机械应力(如短路冲击力)。

## 9 预诊断处理

每个老化分周期完成后,接着可进行短时条件处理,以提高随后诊断试验的辨识能力。这些规程尤其与低压设备有关。以典型预诊断处理为例:

- a) 为揭示结构中绝缘脆变而进行的机械振动;
- b) 为增强后续耐高压试验的故障检测能力而进行的受潮;
- c) 为模拟待评 EIS 运行时非常规间隔发生的电、热或机械应力。

通常,应根据待评 EIS 设计的运行条件决定这些短时处理时的严酷水平和施加的持续时间或次数。

## 10 诊断

### 10.1 诊断试验——终点标准

对特定种类设备或电器的在评 EIS 负责的 ETC 应以绝对项值或相对项值定义终点标准(见 IEC 60727-1, IEC 60727-2 和 IEC 60216-3)。

诊断试验规程的基本要求应包括终点的详细说明。它可以是在诊断分周期期间检测此前老化分周期期间产生的物理弱点,也可以是一种故障或情况,如诊断处理期间的失效或达到某一特性的限定值。试验终点可由单一条件(例如,特性 A 的水平  $x$ ),或几个变量之一(例如,特性 A 的水平  $x$  或特性 B 的水平  $y$  等)来表征,或可用组合条件(例如,特性 A 的水平  $x$  和特性 B 的水平  $y$  等)给定。

典型的标准为:

- a)  $N$  倍于正常运行电压的耐高压试验(此处  $N$  是 1.5, 2, 3 或 4);
- b)  $M$  倍于正常运行水平最大值的耐脉冲或耐浪涌试验(此处  $M$  是 1, 1.5, 2 或 3);
- c) 在规定的电压或电压范围或高于规定的电压或电压范围下的损耗角正切增量、局部放电水平等比初始非老化值高所增加的百分率;
- d) 在规定电压下的漏电流比初始规定值高所增加的百分率;
- e) 所选性能下降的百分率。

## 10.2 附加的特定试验

可要求附加诊断试验以定义特定设备或电器的终点标准。应由相关 ETC 作出决定是否包括更全面的诊断。

## 11 数据分析

### 11.1 概述

分析单因子或多因子应力评定试验数据的特定规则应由相应的 ETC 负责。复杂程度与含有所设计 EIS 的电器类型有关。若待评 EIS 的设计运行参数表明其应力高于基准 EIS 的应力,则待评 EIS 的功能性试验得到的 EIS 试验寿命必须和基准 EIS 在较低水平值时得到的相同。

### 11.2 运行经验

若使用运行经验评定 EIS,结构标志的可信度与所引用数据的质量和可靠性密切相关。

### 11.3 电

评定长期耐电性时,待评 EIS 和基准 EIS 的失效时间与每个电老化应力的算术平均值或中值应标绘在双对数坐标图上(见 IEC 60727-1 和 IEC 60727-2)。通常,为在可接受的试验时间内得到结果,常采用有限范围内的电应力以获得直线的耐电图,如 8.3.1 中规定。

### 11.4 热

评定热老化时,应按照 IEC 60216-3 在阿仑尼乌斯坐标(寿命对数—绝对温度的倒数)中采用线性回归分析。当待评结构和基准结构进行对比时,宜把回归线外推到设计温度并求得试验寿命的对数平均值。若待评 EIS 试验寿命的对数平均值等于或大于基准 EIS,则该待评 EIS 应是可接受的。在很多情况下,待评 EIS 和基准 EIS 要求的运行寿命或设计温度是不同的。

若所绘曲线中有显著拐点,而不是直线,就说明主要老化机理有很大变化。在这种情况下,只能依据曲线的较低温度部分进行分级。为检查这个结果是否可接受,可要求进行一个较低温度下的附加试验。

### 11.5 机械

评估长期机械性时,数据应标绘在机械应力对数—寿命对数坐标图上,并宜和电、热寿命一样进行线性检验。

### 11.6 环境

目前没有分析环境试验数据的标准规程。

### 11.7 多因子

目前没有分析多因子试验数据的标准规程。

## 12 试验报告

试验报告应包含:

- a) 适用评定规程的证明;
- b) EIS 描述;
- c) 关于基准结构的运行经验描述,包括相互作用(必要时)(例如,附录 A);
- d) 模型的证明(需要时);

- e) 基准运行条件;
- f) 涉及任何预处理或预老化的注释;
- g) 试验中老化应力及其水平和加速度;
- h) 试验顺序和持续时间,以及试样的数量;
- i) 诊断处理、试验和测量;
- j) 选定的终点标准;
- k) 老化曲线(为确认待评 EIS 能否接受,应按 IEC 60493-1 的规定程序检验试验数据直线性);
- l) 达到终点的时间,每个值和中值,统计处理(可行时);
- m) 和基准 EIS 对比的新结构的证明;
- n) 资质声明。

### 13 EIS 代码

为了 ETC 之间的协调一致,任何 EIS 编码规程都应和 IEC TC98 联合制定。

注: IEC 60505(1975)中有编码规程。在 ETC 提出进一步要求前,该规程将被停用。

**附 录 A**  
**(资料性附录)**  
**检 查 清 单**

表 A.1 和 A.2 的检查清单是资料性例子。他们不是为特定设备制定的。特定 EIS 调查表的标准化应是相应的 ETC 的任务。

**A.1 EIS 评定的运行经验,运行要求/条件,工作制和性能数据(见表 A.1)**

本类型的检查清单可用于单一单元的设备或用来描述作为 EIS 评定的工具的可比较单元组的运行经验。

设备可包含多个 EIS,因此要求有每个 EIS 的运行记录。

检查清单将为特定种类设备整理出理想的、可用的信息。

填写的运行条件/要求这一列用来对比实际运行条件和原运行要求。

若设备包含多个功能独立的 EIS,则宜完成各自的检查清单。

影响因子能直接引起对 EIS 作用的老化应力;但也应列出会加强或减弱其他影响因子的老化作用的、无任何特定老化作用的影响因子。

**A.2 EIS 的结构(见表 A.2)**

若标明有多个 EIS,则必须决定是否分开处理或作为单个综合 EIS 进行处理。一个综合 EIS 合并了多个设计类型的部分。例如,间隔部分可以有有机、无机或复合材料制造的块、带或结构部分。

**表 A.1 EIS 评定的运行经验、运行要求/条件、工作制和性能数据的检查清单**  
(由 ETC 按要求修改)

<div>设备 型号 .....</div> <div>额定电压/功率 .....</div> <div>单元数量 .....</div> <div>EIS:见表 A.2</div>		
	经验运行数据	运行条件/要求数据
定性经验		
外观检查	.....	.....
失效	.....	.....
监测	.....	.....
维护,修理	.....	.....
性能(P)		
运行总小时数(自上次检查以来)	.....	.....
起动次数	.....	.....
每次起动小时数	.....	.....
待机小时数	.....	.....

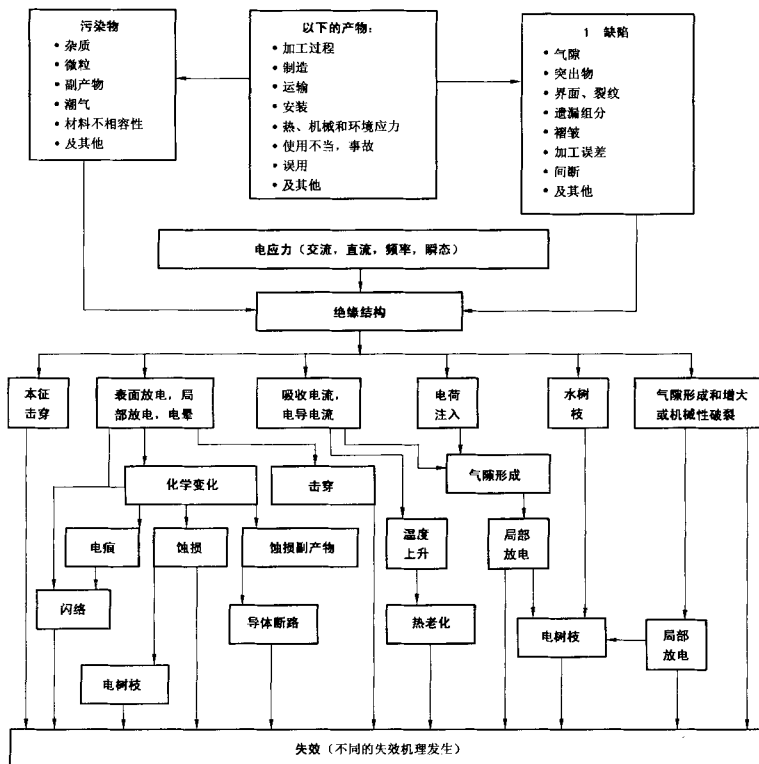
表 A.1 (续)

工作制(D)	连续运行 周期运行 短时 负载范围 待机 储存,运输		
影响因子			
热(T)	最高/最低温度 低/高环境温度 温度梯度 温度变化速率		
电(E)	额定(工作)电压 过电压,瞬态频率 保护水平 局部放电 电痕化,爬电 闪络		
机械(M)	电动振动 机械振动 电动冲击 机械冲击 弯曲 加压 拉伸 扭转 松散部位		
环境(A)	气体 腐蚀环境 真空 润滑剂,化学品 湿度,潮湿 灰尘,沙子 化学品 辐射 侵蚀,白蚁,霉菌		

表 A.2 EIS 结构的检查清单

设备 型号 .....	
额定电压/功率 .....	
考虑中设备 合并了主绝缘的 EIS (标出相应答案)	主绝缘(高压对地)
	电路间-绝缘
	匝间-绝缘
	股-绝缘,电磁线-绝缘
	其他
EIS-设计	
关联导电部分的类型	线棒,电线,电缆,线圈
	开关/继电器接触
	金属薄膜/铝箔,印刷导体
	固态开关
	(半)导电漆或带包
	磁心:实心或叠片
	机架,柜子,箱子,机械支撑
EIS 的设计类型	电磁屏蔽
	间隔,套筒,空气间距
	电磁线绝缘,漆,玻璃材料
	绝缘:挤压,浇铸,灌注
	爬电距离
	浸渍:流动的/固化的
材料数量和种类	层压结构,带绝缘
	一种或多种,气态,液态或固态 热塑性,(热)弹性,陶瓷,复合材料,有机薄膜,纤维,纸,云母,其他

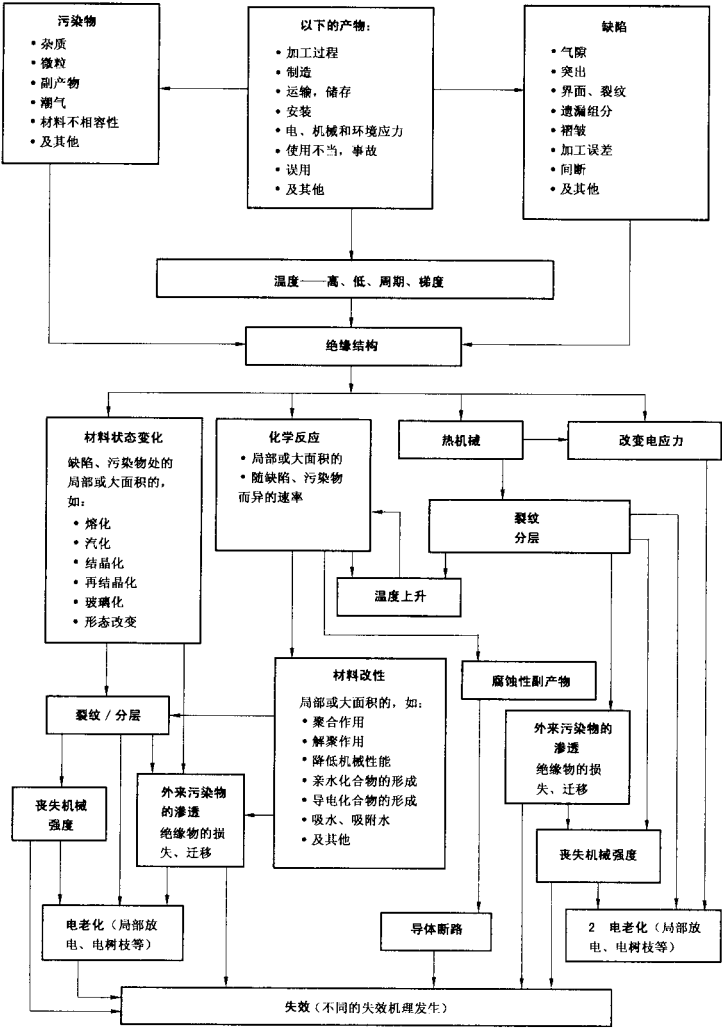
附录 B  
(资料性附录)  
流程图



注：其他应力引起失效。

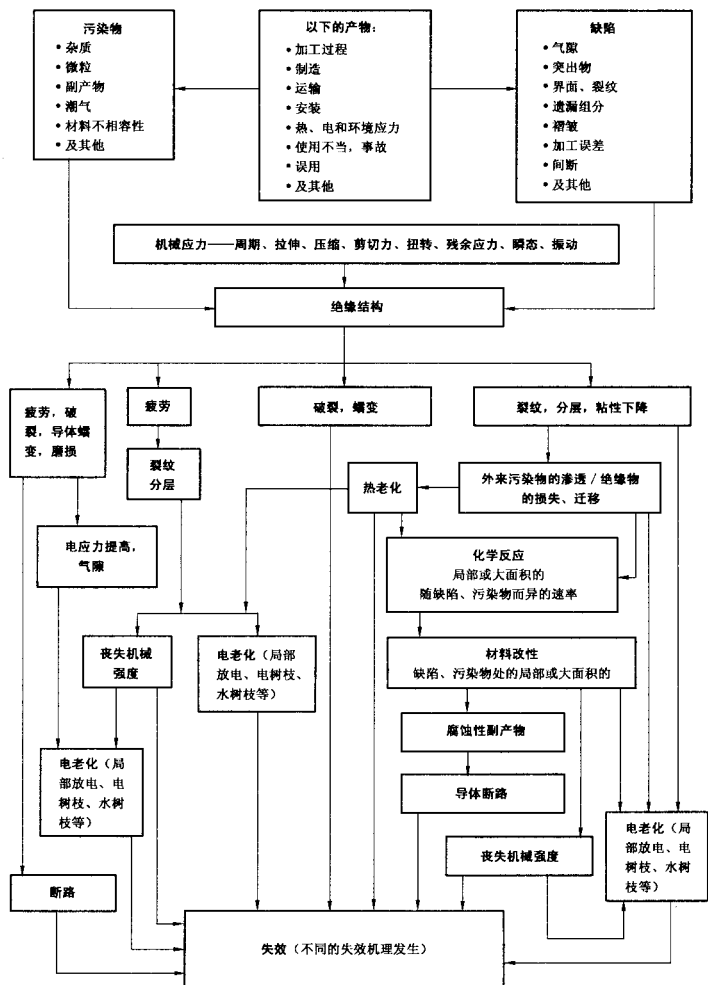
图 B.1 实际 EIS 的内在/外在电老化





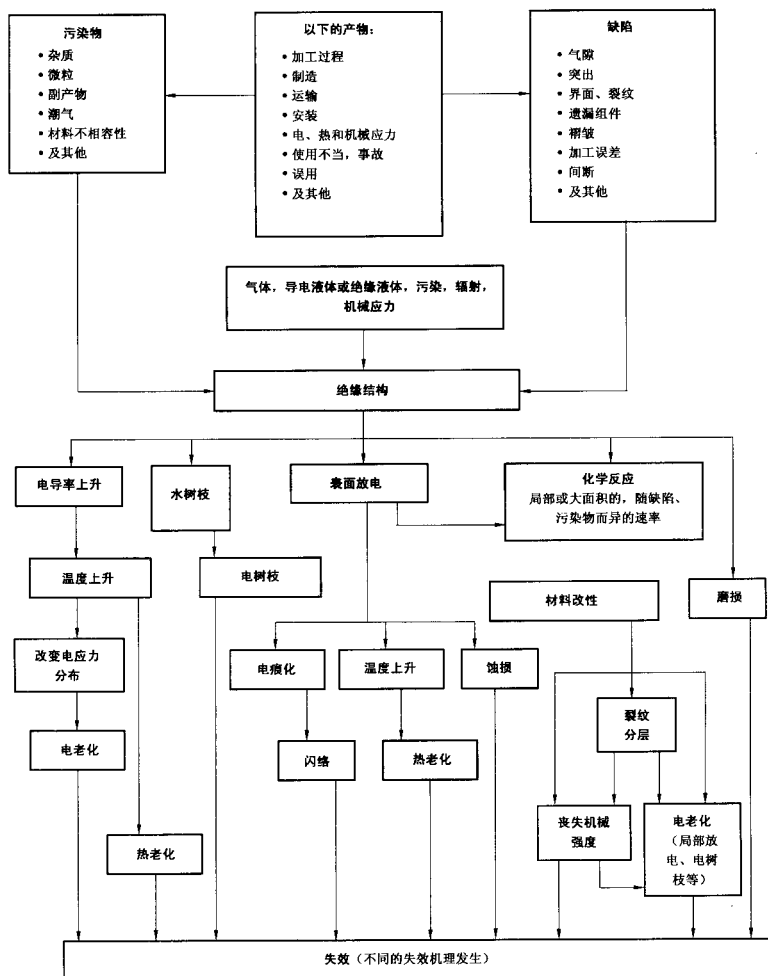
注：其他应力引起失效。

图 B.2 实际 EIS 的内在/外在热老化



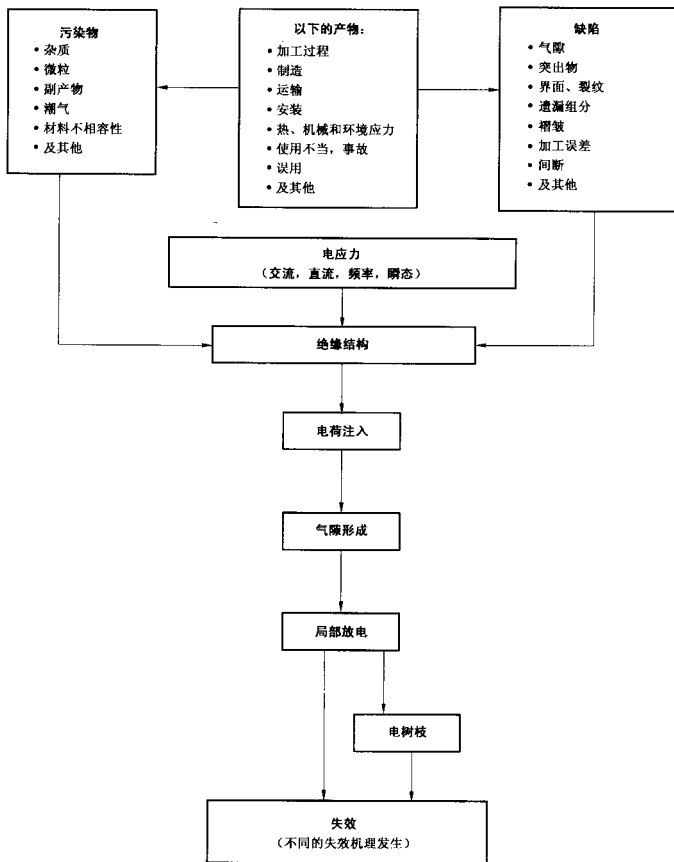
注：其他应力引起失效。

图 B.3 实际 EIS 的内在/外在机械老化



注：其他应力引起失效。

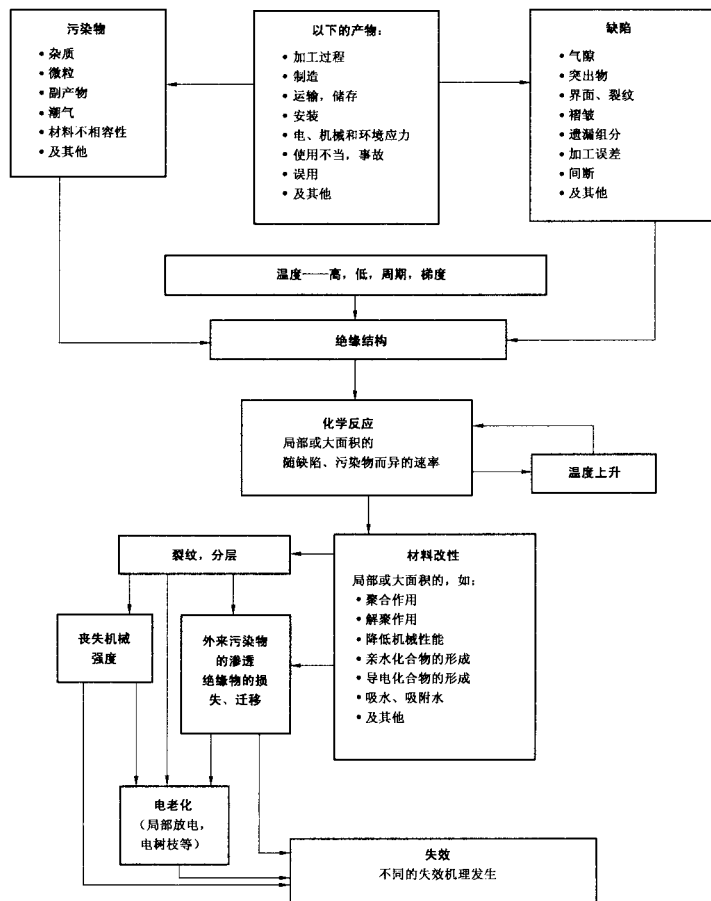
图 B.4 实际 EIS 的内在/外在环境老化



注 1：其他应力引起失效。

注 2：电老化机理发生在电应力提高之处，或绝缘内的缺陷处，或在绝缘界面的缺陷处。

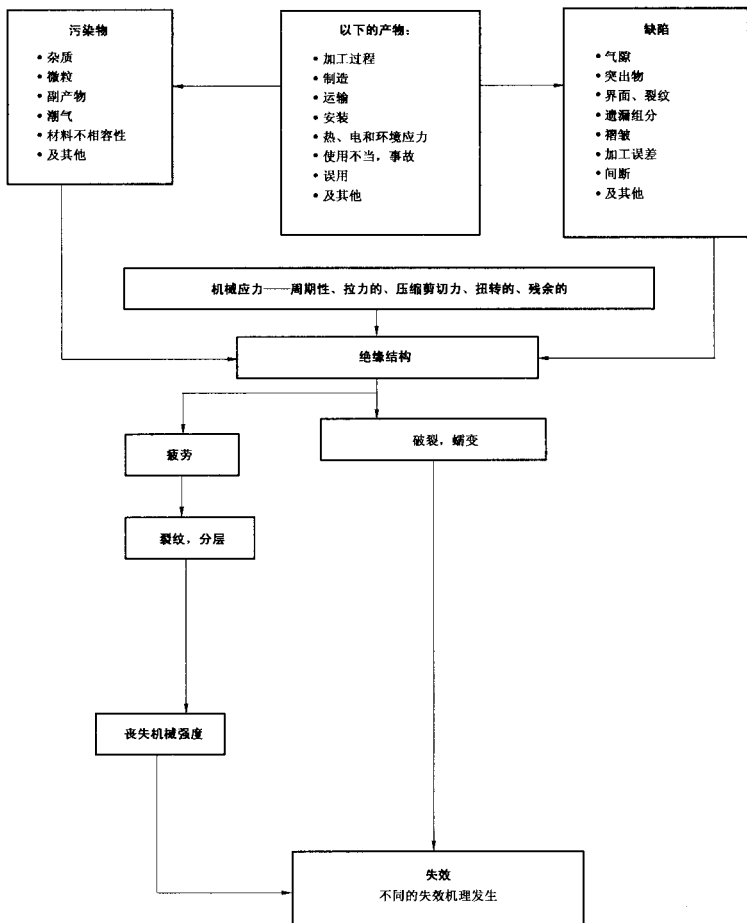
图 B.5 电老化为主要因子时的实际 EIS 老化示例



注 1: 其他应力引起失效。

注 2: 热老化通常起始于绝缘中的缺陷或热点。

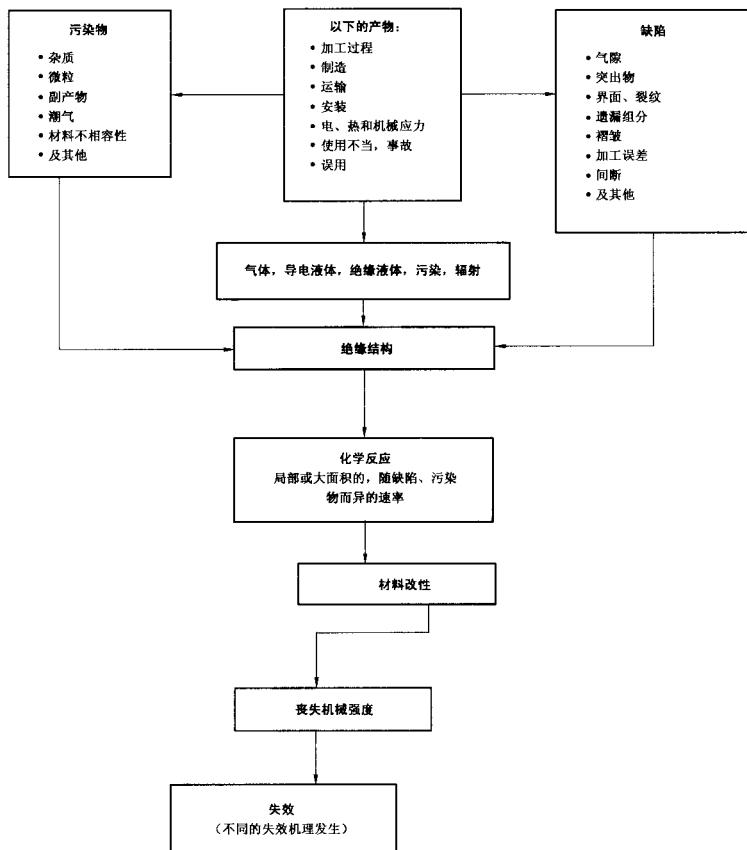
图 B.6 热老化为主要因子时的实际 EIS 老化示例



注 1：其他应力引起失效。

注 2：机械老化通常起始于机械应力提高之处或缺陷。

图 B.7 机械老化为主要因子时的实际 EIS 老化示例



注 1: 其他应力引起失效。

注 2: 环境老化通常起始于液体/气体等的局部聚集或污染物。温度也可显著影响环境老化。

图 B.8 环境老化为主要因子时的实际 EIS 老化示例

## 参 考 文 献

- GB/T 11021—1989 电气绝缘的耐热性评定和分级(eqv IEC 60085:1984)
- IEC 60610 电气绝缘结构的功能性评定原则:老化机理和诊断规程
- IEC 60611 制定电气绝缘结构耐热性评定试验规程的导则
- IEC 60791 基于经验和功能性试验的绝缘结构性能评定
- IEC 60792-1 电气绝缘结构的多因子功能性试验 第1部分:试验规程
- IEC 60941 电气绝缘结构的耐机械性功能试验
- IEC 61359 电气绝缘结构的评定和鉴别 环境评定
-