

ICS 27.120.20
F69
备案号: 41457—2013

NB

中华人民共和国能源行业标准

NB/T 20226—2013

核电厂安全级变压器鉴定

Qualification of class 1E transformers for nuclear power plants

2013-06-08 发布

2013-10-01 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 设备技术规格书	2
4.1 总则	2
4.2 运行工况	2
4.3 设备性能要求	2
4.4 抗震要求	2
4.5 电气、机械和结构接口	2
4.6 行业法规和标准	2
4.7 阻抗	2
4.8 运输、贮存和装卸要求	2
4.9 裕度	2
5 变压器鉴定方法	2
5.1 总则	2
5.2 试验	3
5.3 热老化寿命鉴定	3
5.4 热老化分析和计算	3
5.5 运行经验	3
5.6 通过分析和试验进行的鉴定	3
6 鉴定规程	3
6.1 总则	4
6.2 试验对象	4
6.3 鉴定试验	4
6.4 抗震鉴定规程	4
6.5 合格或失效准则	5
7 文件	5
7.1 总则	5
7.2 鉴定文件	5
7.3 运行、维护	5
附录 A (资料性附录) 关于变压器绝缘系统热老化技术的应用	6
附录 B (资料性附录) 本标准与 IEEE Std 638—1992 相比的结构变化情况	11

前 言

本标准按照GB/T 1.1—2009给出的规则起草。

本标准参考IEEE Std 638—1992《核电厂安全级变压器鉴定》。

本标准与IEEE Std 638—1992存在较多差异，附录B列出了本标准与IEEE Std 638—1992的章条编号对照一览表。

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。

本标准主要起草人：李虎、李悦溪、陆佩芳。

核电厂安全级变压器鉴定

1 范围

本标准规定了安装在核电厂反应堆安全壳外的新制造的安全级(1E级)变压器在设计基准工况下执行所需安全功能的要求。

本标准适用于绕组最高额定电压15000 V及以下且容量不大于5000 kVA(自冷时额定值)的单相及三相变压器。

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 12727—2002 核电厂安全系统电气设备质量鉴定

GB/T 13625—1992 核电厂安全系统电气设备抗震鉴定

GB/T 2900.15—1997 电工术语 变压器、互感器、调压器和电抗器

GB 1094.1—1996 电力变压器 第1部分 总则

GB 1094.5—2008 电力变压器 第5部分:承受短路的能力

GB 1094.7—2008 电力变压器 第7部分:油浸式电力变压器负载导则

GB 1094.11—2007 电力变压器 第11部分:干式变压器

NB/T 20040—2011 核电厂安全级电气设备抗震鉴定试验规则

JB/T 501—2006 电力变压器试验导则

IEC 60072-12:2008 电力变压器 第12部分:干式电力变压器负载导则 (Power transformers – Part12: Loading guide for Dry-Type power transformers)

IEEE C57.12.60:2009 固体铸件和树脂密封的干式电力和配电变压器的绝缘系统热评价试验规程 (IEEE standard test procedure for thermal evaluation of insulation systems for Dry-Type power and distribution transformers, including Open-Wound, Solid-Cast, and Resin-Encapsulated transformers)

IEEE C57.100:2011 液浸式配电变压器热评价 (IEEE standard thermal evaluation of insulation systems for Liquid-Immersed distribution and power transformers)

3 术语和定义

GB/T 12727—2002、GB/T 13625—1992及GB/T 2900.15—1997中界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

系列变压器 design family

一组变压器,它们在布置、材料和应力等设计方面具有相同的特性参数,以满足如温升、阻抗、损耗和抗震能力等工作特性的要求。随着额定值的不同,这些变压器的尺寸可能不同。

4 设备技术规格书

4.1 总则

安全级变压器设备技术规格书除了指明变压器的额定参数之外,还应包括但不限于4.2~4.9中的内容。

4.2 运行工况

除GB 1094.1—1996或GB 1094.11—2007中的运行工况之外,也应规定正常、异常及设计基准事件工况。

4.3 设备性能要求

设备技术规格书中应规定验收准则和在正常、异常工况下及在设计基准事件发生前、发生时及发生后以及这些工况的持续时间内要求变压器实现的安全功能。

4.4 抗震要求

抗震要求应包含:

- a) 要求反应谱(RRS),包括运行基准地震(OBE)的水平和垂直运动分量及其阻尼系数;
- b) 要求反应谱(RRS),包括安全停堆地震(SSE)的水平和垂直运动分量及其阻尼系数。

4.5 电气、机械和结构接口

为在抗震试验(见6.4)中模拟实体负荷,应规定变压器和连接设备间的详细接口。如支撑系统、连接系统、安装详图等。

4.6 行业法规和标准

应明确变压器制造、鉴定试验和例行试验时要遵循的行业法规和标准。

4.7 阻抗

设备技术规格书宜包括要求制造商提供每个抽头位置的阻抗的测量值。这些信息可有助于详细的潮流分析。

4.8 运输、贮存和装卸要求

应规定运输、贮存和装卸要求,包括限制条件和/或特殊要求。

4.9 裕度

设备技术规格书应包括要求的额定值和性能指标,裕度应满足GB/T 12727—2002中的要求。

5 变压器鉴定方法

5.1 总则

在变压器鉴定中应使用以下方法,用于鉴定的变压器应满足第2章中所有适用要求。

5.2 试验

变压器试验由例行试验和设计验证试验组成，并符合GB/T 2900.15—1997中的规定，具体试验要求和试验规程见GB 1094.1—1996、GB 1094.11—2007、GB 1094.5—2008、JB/T 501—2006和GB/T 13625—1992。变压器完成的相关试验和设备鉴定应满足用户规格书中的性能要求。

5.3 热老化寿命鉴定

如果能够证明热老化对于绝缘和支承系统的鉴定寿命的影响可以忽略，抗震试验可以在无预先热老化的情况下进行，如果不能证明热老化对于绝缘和支承系统的鉴定寿命的影响可以忽略，则以下的方法可以用于评估变压器的热寿命。宜在变压器的抗震试验前进行。

由于实体尺寸、热量需求以及老化时间的限制，变压器的整机热老化可能是不切实际的。同样，因为热老化程序很可能做不到使一台变压器整机达到已知鉴定寿命的末期，试图在鉴定试验前完成变压器的整机热老化是不切实际的。所以，作为对变压器整机热老化的替代，可以接受对线圈、元件或者有效的绝缘系统模型/材料（能代表被鉴定变压器的设计）进行热老化试验以评定在变压器运行寿命内期望产生的热影响。

可接受的老化规程和最终试验见IEEE C57.12.60:2009或IEEE C57.100:2011。若供需双方达成一致意见，也可以采用其他热老化规程。

5.4 热老化分析和计算

在不同的温度和负载条件下估算变压器部件的预期寿命的保守值的规程见变压器负载导则GB 1094.7:2008及IEC 60072-12:2008。当变压器运行在低于绝缘系统额定温度时，会降低设计寿命内绝缘系统的老化程度。

5.5 运行经验

一般可以找到40a或以上的运行经验文件。通常不能获取可供审查的反映变压器实际负载情况的详细数据。为了确定由已运行经验提供的鉴定材料，可参考以下因素：

- a) 应使用相同的设计原型和绝缘系统；
- b) 应使用熟知通用系列变压器难点或不足的专业工程师（如负责设计或解决现场问题的工程师）的审查记录；
- c) 报告应包含环境、地震和电气载荷工况的真实记录。

5.6 通过分析和试验进行的鉴定

通过分析和试验进行的鉴定可通过以下技术实现：

- a) 当分析模型用于证明性能时，模型分析计算值在相同参数试验值的10%以内，宜报告零部件的原始性能数据资料。分析模型以及假定条件、试验数据、条件和可接受的相关业绩，宜供第三方进行审查；
- b) 物理、化学以及工程数据可用于预测变压器或其元件的性能；
- c) 在合适情况下，为了避免重复试验，可通过查阅技术文献取得的数据以用于证明材料的预期性能，该参考文献可供公众查阅并且有真实的试验数据可以支持；
- d) 通过分析来支持鉴定过程中使用的数据应与应用相关，并且应提供合适的审查格式。

6 鉴定规程

6.1 总则

试验应在某一系列变压器的一台变压器上进行，以证明设计方案满足或超过了规格书（见第4章）中的要求。试验大纲应由在一份试验规范书或规程中有计划的试验序列组成，这将证实变压器的设计方案和在规定工况下能可靠运行。关于这些试验适用于系列变压器所有级别的外推应提供文件并得到证明。

系列变压器中一台变压器的鉴定寿命可通过采用第5章中列出的变压器鉴定方法或按照GB/T 1094.7—2008及IEC 60072-12:2008中列出的负载导则所确定的试验方法得到。发生在设计或寿命试验中的失效应用于指导寿命鉴定，任何变压器的重新设计或有机材料部件的更改可以要求重新进行试验或对重新设计进行分析。

6.2 试验对象

本条规定了批量生产的全尺寸变压器（由基本组件及附属设备组成）需进行的试验。鉴定试验包括用来检验设备性能是否满足用户规格书要求的例行试验和设计验证试验。生产的每台变压器及用于设计试验的变压器样机都应进行例行试验。对样机对象要进行设计验证试验（包括温升试验、雷电冲击试验以及短路试验），试验遵循相应的国家及行业标准中的要求，抗震试验应符合GB/T 13625—1992的规定。

用于此类试验的变压器应是系列变压器中具有代表性的对象，而此系列变压器也应具有相同的设计特性、其所使用的材料也应遵守相同的规范。同时，其所承受的运行应力及电气/结构载荷不应比接受鉴定的变压器低。试验报告应表明所有材料、试验方法（包括质量控制），对不能明确代表鉴定变压器的特性参数，应通过分析、运行经验或单独试验对每个参数的差异进行说明。

6.3 鉴定试验

除非另有说明，变压器样机应按照GB 1094.1—1996、GB 1094.11—2007、GB 1094.5—2008或JB/T 501—2006中指定的顺序进行以下例行及设计验证试验。如果规定了其他的试验或试验序列，其试验顺序应被用户与制造商共同认可并接受，试验顺序还应写入鉴定报告，指定的顺序如下：

- a) 绕组直流电阻测量；
- b) 电压比测量；
- c) 联结组极性和相序的测定；
- d) 额定电压和频率下的空载损耗及空载电流测量；
- e) 额定电流和频率下抽头处的短路阻抗和负载损耗测量；
- f) 在自冷却或强迫风冷情况下，额定容量下的温升试验；
- g) 雷电冲击试验；
- h) 外施耐压试验及感应耐压试验；
- i) 短路试验；
- j) 按照6.4进行的抗震试验（该试验可在短路试验前进行）；
- k) 重复a)～h)试验。

注：6.3的鉴定试验适用于新的变压器。而对于经过热老化或从实际运行中移出的用于鉴定的变压器，试验a)～h)的出厂记录可以代替短路试验和抗震试验之前所要求的试验。重复的绝缘及雷电冲击试验的电压等级，应不低于出厂试验水平的65%。

6.4 抗震鉴定规程

抗震鉴定所使用的方法应遵循GB/T 13625—1992。如果鉴定采用试验验证形式，则适用以下要求：

- a) 变压器应同时承受水平和垂直的OBE及SSE运动，分别采用包络各自要求反应谱的试验反应谱；
- b) 地震试验的次数、持续时间及方向应遵循GB/T 13625—1992中的规定或用户指定的特殊RRS或通用RRS；

- c) 试验期间, OBE运动应先于SSE运动, 并应遵循GB/T 13625—1992中的规定;
- d) 变压器的所有接口应代表特定的现场情况。仿真载荷可以用于模拟实际的现场接口;
- e) 在抗震试验中, 变压器的一次或二次绕组应在其额定电压下进行空载通电, 因为绝缘击穿是主要的失效机理。在实验过程中, 应持续监视施加的电压与空载电流;
- f) 在抗震试验中, 强迫冷却装置和附件(如果有)应投入工作。

6.5 合格或失效准则

变压器的合格或失效准则如下:

- a) 受试变压器应满足6.3中b)~h)的鉴定试验, 即在抗震试验之前的试验。对于6.3中的鉴定试验i), 受试变压器应满足相应标准中的要求;
- b) 在抗震试验期间, 若不能承受额定电压则应认定为失效。在抗震试验后, 不能承受额定电压或加载额定容量负载应认定为变压器失效;
- c) 抗震试验后, 强迫冷却装置和附件(如果有)的失灵(不影响安全功能的附件除外)应认定为变压器失效;
- d) 由OBE或SSE导致的结构变化, 若不会削减变压器加载额定电压下的额定负载或影响其整体结构完整性, 则这种结构变化应是可以接受的。在抗震试验之后, 强迫冷却装置(如果有)应保持结构完整性;
- e) 抗震试验后, 受试变压器应满足相应标准关于6.3中鉴定试验b)、c)、f)、g)和h)的要求;
- f) 除非另有规定, 抗震试验前后, 6.3中d)和e)中测量参数的允许偏差范围应分别不超过10%和7.5%。

7 文件

7.1 总则

所需文件应充分证明变压器满足其规定的性能要求并可以在第4章所述的正常、异常及设计基准事件下正常运行, 这些文件应使用经过组织的并可供审查的格式。

7.2 鉴定文件

文件应包括6.3和用户规格书规定的全部试验数据表格, 且这些表格应包含在经认可的试验报告中。鉴定报告还应包括供需双方关于不进行变压器的整机热老化而共同认可的理由, 并应记录部件的试验和(或)分析结论以证明其可以达到第5章中所描述的鉴定寿命。

抗震鉴定试验报告应包括根据GB/T 13625—1992和6.4所进行试验的试验结果文件, 以及所有必要的推断文件。

7.3 运行、维护

在使用说明书或其它适当的文件中应提供维护说明书, 在鉴定报告中应记录为保证变压器的鉴定寿命而提出的维护要求。

附录 A
(资料性附录)

变压器绝缘系统热老化技术的应用

A.1 与变压器绝缘材料和系统评定相关的文件

A.1.1 技术文献

变压器绝缘材料和系统评定以及变压器负载导则的技术文件如下:

IEEE C57.12.01:2005 干式配电、电力变压器包括带有固态浇注和/或树脂封装绕组通用要求 (IEEE Standard General Requirements for Dry-Type Distribution and Power Transformers, Including Those with Solid-Cast and/or Resin Encapsulated Windings)

IEEE C57.12.60:2009 固体铸件和树脂密封的干式电力和配电变压器的绝缘系统热评价试验规程 (IEEE standard test procedure for thermal evaluation of insulation systems for dry-type power and distribution transformers, including open-wound, solid-cast, and resin-encapsulated transformers)

IEEE C57.96:1999 干式配电及电力变压器负载导则 (IEEE Guide for Loading Dry-Type Distribution and Power Transformers)

IEEE C57.100:2011 液浸式配电变压器热评价 (IEEE standard thermal evaluation of insulation systems for liquid-immersed distribution and power transformers)

A.1.2 负载导则

负载导则提供了除了在额定情况下的载荷指南,包括不同于铭牌额定值及在正常寿期内的过载容量下的环境温度。

A.1.3 变压器寿期示例

图A.1是IEEE C57.96:1999中干式变压器的相对寿命期望值与最高点温度之间的关系。同样,图A.2及A.3分别表明以10与e为底的对数刻度的实际寿命期望值曲线。

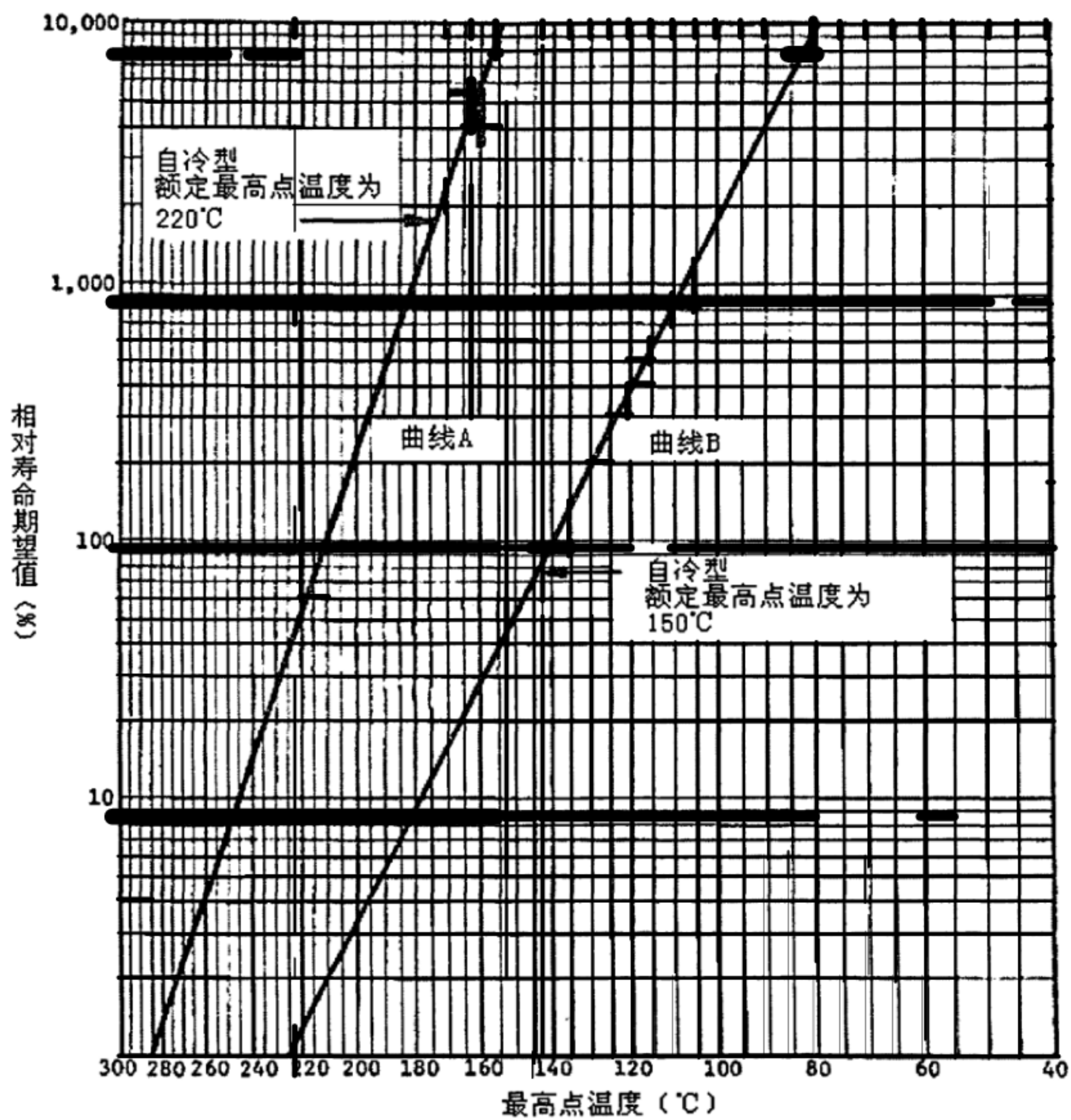
对于以绝缘系统(遵循IEEE C57.12.01:2005)最高点温度为220℃而制造的变压器,宜采用图A.1中的曲线A。

在最高环境温度并且以铭牌满额定功率运行时,最高点温度为160℃(环境温度50℃,温升80℃和热点梯度30℃)。从图A.1中可以得到相对寿命期望值为正常值的55倍,这可以理解为老化速率为1/55或0.018。如果假设这种负载情况在核电厂的40 a鉴定寿命中持续存在,则变压器的逝去寿期为 $0.018 \times 40 = 0.72$ a。如果变压器的正常寿命期望值是15 a,或由图A.2或A.3中获取的某个值,则变压器在电厂鉴定寿命末期的热寿命还剩下 $(15 - 0.72) / 15 = 0.95$ pu或95%。

最高点温度是环境温度与变压器实际载荷值的函数。对于不会持续运行于铭牌额定值的变压器,最高点温度可以通过IEEE C57.96:1999中第6章的公式得到。此温度计算值应在以上例子中使用。

尽管220℃热老化曲线最初是通过密封式变压器开发得到的,此曲线也适用于通风式变压器中的相同绝缘系统(见IEEE C57.96:1999)。

对于使用其他绝缘系统的变压器,5.3的数据可以得出绝缘寿命关系以描述特殊绝缘系统与绕组最高点温度。这种关系,与额定温升值,负载情况及环境温度一起,可以得到类似的结果。



图A.1 寿命期望—最高点温度关系曲线



最高点温度 (°C)

T — 绝对温度, 单位为开尔文 (K)

图A.2 寿命期望值曲线—以 10 为底对数刻度



最高点温度 (°C)

T — 绝对温度, 单位为开尔文 (K)

图A.3 寿命期望值曲线—以 e 为底对数刻度

A.2 包含于电气绝缘材料或系统的热老化评定有关文件中的典型特性

A.2.1 概述

对A.1中所列文件进行审查时, 当校验和对比其目的与技术时, 多数规程具有多项相同的条款。

A.2.2 试验样本

老化试验通常是在表征实际绝缘系统的独立的绝缘材料或模型上进行的。需注意的是，当使用单一材料参数时，这种材料和其它任何材料之间的化学反应不会使评定无效。通常，绝缘系统试验在非功能性、有代表性的变压器模型上进行。对一些专用配电变压器的绝缘系统的试验通常使用全尺寸功能性的变压器。

A. 2. 3 试验样本的数量

多数样本通常都会接受测试，推荐最少使用3台，一般认为准确性和可靠性随着试验样本数量的增加而提高。

A. 2. 4 试验的实际持续时间

试验温升提高时实际持续期的次数需与不同老化温度下至失效的老化周期数相接近。同样，升高的老化温度和次数需在相对较短时间（大于100 h）内获取有效数据为原则进行选取。

A. 2. 5 试验数据的外推

A. 2. 5. 1 概述

外推常用于估算绝缘材料和（或）系统在特定条件下的可承受能力。

A. 2. 5. 2 时间外推

时间外推通常采用阿伦纽斯速度的绝缘寿命公式。此公式是基于化学速率反应理论，在纵坐标为对数刻度的时间、横坐标为绝对温度倒数的图上，这个特性为一条直线，其数学关系式为公式A. 1：

$$\ln L = A + B/T \dots\dots\dots (A. 1)$$

式中：

L ——寿命，单位为小时（h）；

T ——为绝缘系统绝对温度，单位为开尔文（K）；

A 、 B ——各种材料或绝缘系统的常数。

A. 2. 5. 3 绝缘寿命关系

绝缘寿命关系有益于加速相关绝缘系统的试验、评定和相对比较的进程。通过在三个或以上的温度点下进行老化，每点温差相差10℃或以上，且均大于最高预期运行温度，通常绘制出的失效点接近一条直线，对于已知的经过运行证明的绝缘系统，估算其在较低温度下的期望寿命，可以推断出同样的结果。此绝缘寿命关系允许使用5 a～20 a内高可信度的外部数据的计算值以确定鉴定寿命。在确定较长的鉴定寿命时，使用外推技术通常使用相同的外部数据。应用绝缘寿命关系将导致可信度随外推长度的增加而降低。因此，20 a～40 a内的鉴定寿命可能会比在更短寿命内的固有精确度更低。

附 录 B
(资料性附录)

本标准与 IEEE Std 638—1992 相比的结构变化情况

本标准与IEEE Std 638—1992相比在结构上有所调整，有变化的章条编号对照情况见表B.1。

表B.1 本标准与 IEEE Std 638—1992 的章条编号差异对照情况

本部分章条编号	对应 IEEE Std 638—1992 的章条编号
第2章	第3章
引言	第2章
4.1	悬置段
4.2	5.1
4.3	5.2
4.4	5.3
4.5	5.4
4.6	5.5
4.7	5.6
4.8	5.7
4.9	5.8
5.1	悬置段
5.2	6.1
5.3	6.2
5.4	6.3
5.5	6.4
5.6	6.5
7.1	悬置段
7.2	8.1
7.3	8.2
7.4	8.3
A.1.1	悬置段
A.1.2	A.2.1
A.1.3	A.2.2
A.2.1	悬置段
A.2.2	A.3.1
A.2.3	A.3.2
A.2.4	A.3.3
A.2.5	A.3.4
A.2.5.1	悬置段
A.2.5.2	A.3.4.1
A.2.5.3	A.3.4.2

中 华 人 民 共 和 国
能 源 行 业 标 准
核电厂安全级变压器鉴定
NB/T 20226—2013

*

核工业标准化研究所发行
北京海淀区骚子营 1 号院
邮政编码：100091
电话：010-62863505
机械工业信息研究院印制部印刷
版权专有 侵权必究

*

2013 年 10 月第 1 版 2013 年 10 月第 1 次印刷
印数 1—200