

中华人民共和国国家标准

GB/T 29308—2012

核电厂安全重要仪表和控制系统 老化管理要求

Management requirement of ageing of instrumentation and control systems
important to safety for nuclear power plants

(IEC 62342:2007, Nuclear power plants—Instrumentation and control
systems important to safety—Management of ageing, MOD)

2012-12-31 发布

2013-06-01 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

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 老化管理的范围和安全目标 3

5 老化管理要求 4

6 认识 I&C 的老化现象 5

7 应对老化效应的要求 6

8 老化控制要求 10

9 组织机构 11

附录 A (资料性附录) 本标准与 IEC 62342:2007 相比的结构变化情况 13

附录 B (资料性附录) 表征 I&C 老化现象以及获取核电厂 I&C 部件老化管理数据的指导 15

附录 C (资料性附录) 核电厂所选 I&C 部件老化管理的实例 18

附录 D (资料性附录) I&C 老化管理的测试和监督技术实例 24

参考文献 28

前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本标准使用重新起草法修改采用 IEC 62342:2007《核电厂 安全重要仪表和控制系统 老化管理》。

本标准与 IEC 62342:2007 相比在结构上有较多调整,附录 A 中列出了本标准与 IEC 62342:2007 的章条编号对照一览表。

本标准与 IEC 62342:2007 的技术性差异及其原因如下:

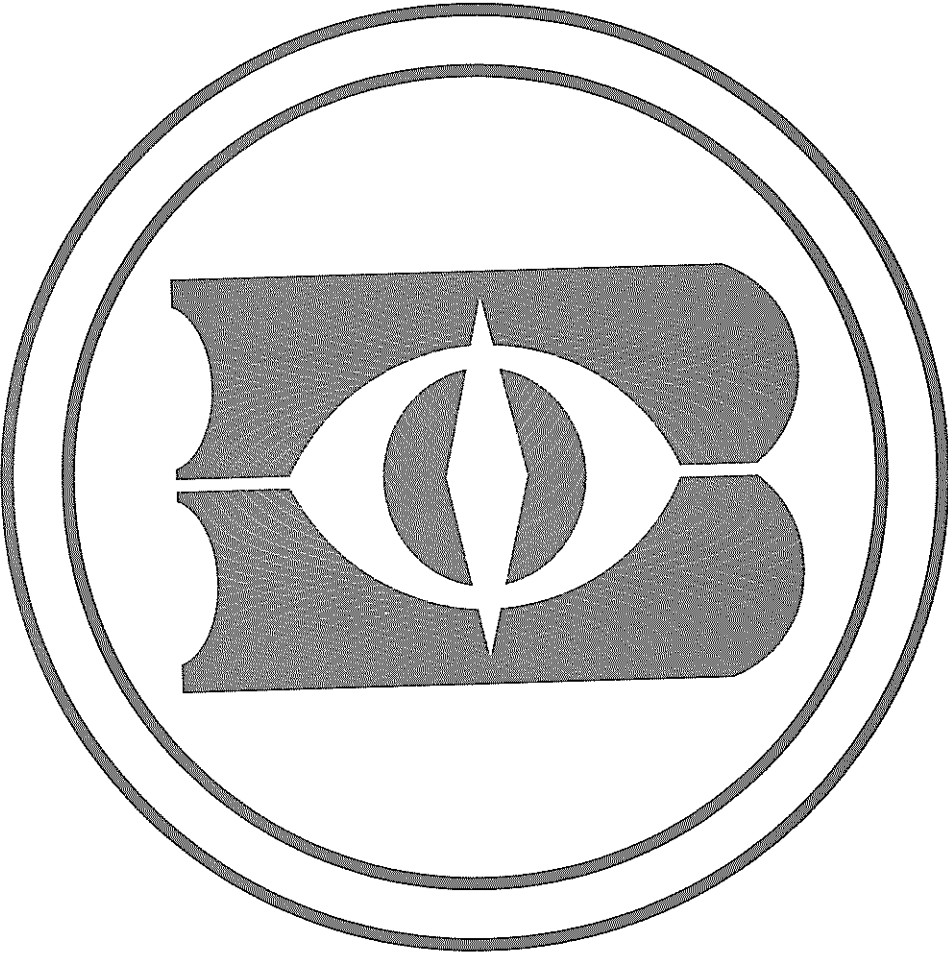
- 增加了 HAF 003 的引用(见第 2 章);
- 删除 4 条标准文本中没有出现的术语和定义 3.1、3.9、3.13 和 3.18;
- 增加 2 条术语和定义(本文中 3.2、3.3);
- 删除第 4 章背景资料,使标准更简洁;
- 删除第 5 章中的表 1,使标准更简洁。

本标准由国防科技工业局提出。

本标准由全国核仪器仪表标准化技术委员会(SAC/TC 30)归口。

本标准起草单位:北京广利核系统工程有限公司、大亚湾核电运营管理有限责任公司、上海核工程研究设计院。

本标准主要起草人:龙威、孟广国、吕秀红、马蜀、汪世清、丁俊超、马志才、顾申杰、毕道伟。



核电厂安全重要仪表和控制系统 老化管理要求

1 范围

本标准规定了核电厂安全重要仪表和控制(I&C)系统及相关设备的老化管理的原则、技术要求和
建议。

本标准适用于各种类型的核电厂。

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。

NB/T 20026—2010 核电厂安全重要仪表和控制系统总要求(IEC 61513:2001,IDT)

HAF 003 核电厂质量保证安全规定

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

老化 ageing

构筑物、系统或部件的特征随时间或使用逐渐变化的过程。

注:降质是由于部件材料内在的物理机理产生的,并且与 I&C 设备设计、组装和功能特性有关。它受设备周围环境
和设备运行产生的应力的影响。

3.2

老化降质 ageing degradation

构筑物、系统或部件的物理特性,因老化机理的作用,在贮存或运行条件下随时间或使用而产生的
逐渐降质,结果可能削弱了它们实施预期功能的能力。

3.3

老化管理 ageing management

为使构筑物、系统和设备的老化降质控制在可接受限值内的建造、运行和维修活动。

3.4

校准 calibration

在规定的条件下,确定测量仪表或测量系统的指示值,或实物量具,或参考物质所表示的值与相应
标准规定值之间关系的一组操作。

[GB/T 4960.6—2008,3.4.42]

3.5

通道 channel

系统内相互连接的部件发出单一输出信号的配置。在单一输出信号与来自其他通道(例如监测或
安全驱动通道)的信号结合在一起的地方,通道就告终止。

[GB/T 4960.6—2008, 4.1.30]

3.6

交叉校准 cross-calibration

冗余仪表(例如温度传感器)的显示相互比较的过程,以确定异常的传感器,这作为验证刻度或识别刻度变化的一种手段。

[IEC 62385:2007, 定义 3.6]

3.7

设计寿命 design life

预计一个设施或部件按其制造时的技术要求将能运行的时间。

[IAEA 安全术语, 2007]

3.8

I&C 生命周期 I&C life cycle

开始于系统需求规格书的概念阶段,结束于 I&C 系统不再有效使用,在这一段时间内所涉及的 I&C 系统的实现和运行的一系列必要的活动。

3.9

现场测试 in situ test

不需将传感器或变送器从系统中其正常的安装位置拆出进行的传感器或变送器的测试。

3.10

更新改造 modernization

用新的系统和部件进行替换或升级。如果要求没有变更则用“更新”,如果要求的程度提高则用“改造”。

注 1: 更新、整修、改型、翻新和改造是相类似的术语,通常可互换使用。只是在表示多层意思时的含意有所不同(IAEA-TECDOC-1066)。当要求有所提高时用改造。改造还包括实施新的功能。

注 2: 更换和更新类似,时常可互换,是从单一部件直到完整的 I&C 使用的术语。

3.11

监测 monitoring

连续或定期地测量辐射或其他参数来确定某个系统的状态。

[GB/T 4960.6—2008, 4.2.1]。

3.12

运行条件 operating conditions

为正常运行或假设始发事件状况预期的环境、动力和信号条件。

3.13

预测性维修 predictive maintenance

根据观察到的状况而决定的连续或间断进行的预防性维修,以监测、诊断或预测构筑物、系统或部件的条件指标。这类维修的结果应表明当前和未来的功能能力或计划维修的性质和时间表。

注: 也称为基于状态的维修。

[IAEA 安全术语, 2007]

3.14

预防性维修 preventive maintenance

探测、排除或缓解使用中的构筑物、系统或部件降质的活动,以便通过把降质和故障控制在可接受的水平来维持或延长其使用寿命。

注 1: 预防维修可以是定期维修、计划维修或预测性维修。

注 2: 与纠正维修相对。

[IAEA 安全术语,2007]

3.15

鉴定寿命 qualified life

一个构筑物、系统或部件通过试验、分析或经验已证明其能够在特定运行工况下在验收准则范围内运行,同时保持在设计基准事故或地震条件下能够履行其安全功能的时间。

[IAEA 安全术语,2007]

3.16

响应时间 response time

从被测量发生阶跃变化到输出信号第一次达到其最终值的某一给定百分数(通常取 90%)时所经历的时间。

[GB/T 4960.6—2008,3.2.22]

3.17

趋势分析 trending analysis

为构成仪表通道或部件的历史记录获得仪表数据随时间变化的过程(例如校准),或与冗余仪表作比较(例如交叉校准或比较)以确定性能是否已受到影响的过程。

3.18

升级 upgrading

以运行经验和新工艺、新材料的可用性为基础,对设备在设计或功能性提升方面进行的改进。这包括选用更耐老化的材料,重新配置以提高可靠性,甚至重新布置设备和增加新的功能。

4 老化管理的范围和安全目标

4.1 概述

本标准中的老化指构筑物、系统或部件随时间或使用而逐渐变化的过程。老化涉及实体老化过程和由于知识和技术的演变以及准则和标准的相关变化而过时的技术老化过程。

4.2 实体老化的管理

实体老化指构筑物、系统或部件由于物理、化学和(或)生物过程发生的老化。本标准针对核电厂仪表和控制(I&C)系统和相关设备实体老化的管理提供了策略、技术要求和建议,并且还以资料性附录的形式给出了验证 I&C 设备正确运行可用的试验方法、程序和技术,目的是防止老化降质对核电厂的安全、可用性和可靠性造成有害的影响。

4.3 技术老化的管理

考虑到实体老化会对核电厂的安全产生直接后果,本标准将老化管理的重点放在 I&C 系统的实体老化管理方面,因此在所有的细节方面并不涉及技术老化的影响。

但值得注意的是,实际上老化管理的总计划必然会涉及技术老化,技术老化已成为很多 I&C 科研开发生命周期(从设计到运行维修、更换和升级改造)中的主要问题。

4.4 安全目标

本标准确定的最低要求其目的在于保证能够识别 I&C 老化对核电厂安全造成的任何潜在的影响,并保证采取了适当行动,以证明核电厂的安全性不会被削弱。

5 老化管理要求

5.1 一般要求

本章给出的要求及建议用于确立 I&C 老化管理必需的方法和实践过程。

5.2 方法

应确立一套适当的 I&C 老化管理方法,对所有与核电厂长期运行策略相关以及相互影响的问题进行安全评估。

应识别 I&C 老化对核电厂安全的潜在影响,并采取适当的行动证明核电厂安全不会被削弱。应保持 I&C 的鉴定状态。另外,在评估老化机理对设备或部件的影响时应同时考虑:

- a) 正常运行工况下可能导致故障的老化机理;
- b) 事故工况下(包括地震和设计基准事故条件下)可能导致故障的老化机理。

应识别影响安全的与 I&C 老化有关的参数(例如刻度漂移,响应时间性能变差);应确立为验证 I&C 设备的性能而采用的数据采集手段和方法。宜定期地获取、分析 I&C 的性能数据,并与验收标准进行比较。由于完全确定老化机理十分困难,因此建立有效的信息反馈系统以利于使用核电厂和其他工业领域的经验很重要;而且,宜通过监查来控制信息源的质量。采用的方法宜考虑维持核电厂可用性和安全所需的功能需求、材料性能、设备供货以及人力资源可预见的发展情况。

老化管理的基本方法宜包含下列三个概念上迭代的步骤:

- a) 认识老化现象,识别对 I&C 的(潜在的)影响。可通过研究、运行经验以及其他来源来理解老化现象(见第 6 章)。
- b) 在考虑运行特性和分析风险的过程中,评估这些效应对核电厂的特殊影响,选择 I&C 设备和部件,分析核电厂运行条件,评估老化降质(见第 7 章)。
- c) 实施必要的缓解行动来抵消老化效应的影响,规定明确的 I&C 老化管理方法,例如改进的试验和维修,确立“老化控制”程序,制定修改和更换策略(见第 8 章)。

由于 I&C 设备对核电厂安全的重要性,实践中老化管理应优先考虑。这可根据对老化的敏感性、运行工况以及故障对其所属系统安全的影响,通过筛选 I&C 设备和部件来完成。

不论是作为识别老化的设备进行的初步(一次性)评估的一部分还是作为更换设备前的持续长期的行动,核电厂和 I&C 设备的状态监测都是必要的。

I&C 老化管理的手段包括既有布置,设计、维修、监督性试验等规定,这些措施的适当性应当加以验证。还可能需要规定对 I&C 老化管理的辅助措施,例如改进的维修,特定的“老化控制”程序、修改和更换策略。

5.3 过程

在老化管理过程中应执行 5.2 给出的方法。I&C 的实体老化管理过程包括以下活动:识别特性随时间发生变化的设备零部件,对这些设备零部件进行必要的测试和监督,以及采取纠正或缓解措施,以保证可靠性、设备性能,在适用的情况下还要保证其鉴定寿命。这些可构成处理老化问题的具体行动计划,构成对现有(短期或长期的)维修活动的验证,或两者的综合。图 1 表示一个 I&C 老化管理过程的几个阶段。

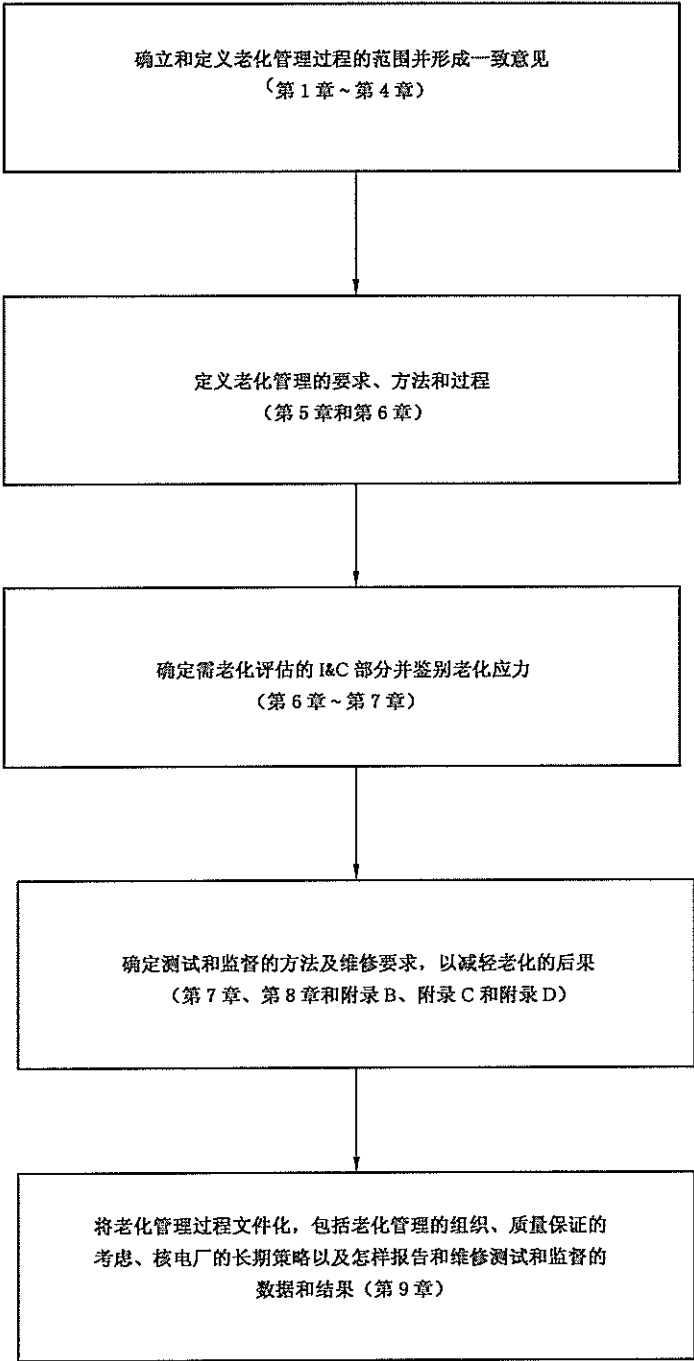


图 1 I&C 设备和系统老化管理过程的流程图

6 认识 I&C 的老化现象

6.1 一般要求

为了识别老化现象并将老化机理、产生原因以及对 I&C 部件、设备和系统造成的潜在的或已被证实的影响联系起来,宜对可能的老化现象的特征进行描述。随着来自核电厂运行以及外部信息源(例

如,研发、实践经验)经验的积累,应对该老化现象的描述清单定期地进行更新。

在接近 I&C 部件寿期末时,I&C 设备或系统的部件故障率会增大(参见附录 C 的可靠性浴盆曲线中的耗损故障期)。此时的故障率在统计上不可预测,设备不再可靠,应力影响会明显促成过早老化。因此,随着 I&C 老化现象的发展宜强化测试和监督。

6.2 导致老化的应力

应力源于设备的制造、贮存以及使用前或使用中的运行工况。应力产生耗损引起的失效,并引发老化机理,产生老化效应。应力有两种类型:

- a) 外应力,不论设备处于运行还是关停状态,均存在于设备的周围环境中。典型的实例包括温度、湿度、辐射、电和振动。这些应力的强度可能会随外部事件(气候变化、核电厂事件、各种危害、放电、电磁场等)和位置的不同发生变化。
- b) 内应力,源自设备或系统的运行。实例有因电或机械载荷产生的内部发热,由机械或电气冲击产生的物理应力、振动以及由设备运行产生的部件的电气或机械耗损(例如触点)。

电气或电子设备的老化降质是设备承受应力的持续时间、范围和强度综合作用的结果。单一应力引起的老化降质通常表现为一种简单的涉及应力强度和时间的关系;而一种以上应力组合引起的老化降质可超过各个效应的总和。

6.3 老化机理和老化效应

宜通过分析构成 I&C 设备的各种材料和部件在单独经受外部和内部应力时的行为,确定设备对老化机理以及老化效应的敏感度。

附录 B 提供的指导用于描述核电厂中 I&C 老化现象的特征和获取老化管理数据,列出了有代表性的老化机理及其对不同的 I&C 设备族的影响。在特定的时间、特定的使用环境中,并不是所有的老化机理都会在设备中产生显著的老化效应。

7 应对老化效应的要求

7.1 老化效应的鉴别

本章提出的要求用于评估老化对 I&C 设备作用的特定影响,评估考虑了设备运行特性并分析了潜在的风险。宜在老化管理过程中考虑下列要求:

- 确定需老化评估的 I&C 部件;
- 评估 I&C 设备的老化降质;
- 老化应力;
- 设计功能与鉴定;
- 监督试验和维修要求;
- 资源支持;
- 文件要求。

7.2 确定需老化评估的 I&C 部件

7.2.1 一般要求

应选择易受老化影响且其故障会显著影响其所属系统安全的 I&C 设备和部件,来进行老化降质的评估,并将其包含在老化管理大纲中。

选择过程宜考虑:

- 识别其故障会对安全系统造成严重后果的部件;
- 识别安全有关部件清单中可能对老化机理敏感的部件(见第 6 章)。

对老化敏感的 I&C 部件的例子有温度和压力传感器[例如电阻温度探测器(RTD),热电偶,压力、液位和流量变送器]、电缆和连接件、中子探测器、电子卡件、压力信号传输管线(脉冲管)。

7.2.2 I&C 功能、系统和设备的识别

应编制一份清单,列出对核电厂安全起作用的所有的 I&C 功能、系统和设备。设备边界从工艺系统的接口部件(取源部件、传感器)到驱动系统。

7.2.3 I&C 设备和部件的细目分类

应对对核电厂安全功能起作用的 I&C 系统和设备的清单再往下细分为组成设备的物项或零部件的一览表,便于分析老化机理的影响。在这种情况下宜考虑:

- 结构材料;
- 类型(型号、制造商等);
- 环境保护等级;
- 运行和环境条件及位置;
- 使用时间和规定的运行寿命;
- 鉴定要求;
- 故障史。

7.2.4 失效分析

应在一组运行条件下就设备或零部件的故障对安全功能的影响进行分析。应考虑由于老化机理引发的失效和故障模式。开始的时候宜将所有部件均看作是对老化敏感的,直到得出否定结论。值得注意的是可能包含有因协同效应产生的老化。

失效分析中宜考虑下列因素:

- 某些部件特定的老化降质可能会导致不安全的或未发现的失效模式;
- 老化降质可能引起与正常运行或事故工况鉴定规范不符合的情况;
- 老化对通常不被视为 I&C 部件的结构材料的影响(例如焊接接头和绝缘护套的性能降质);
- 不应由于物项具有冗余和多样性设置而遗漏对其作进一步的评估,因为老化降质有可能导致共因故障;
- I&C 设备的设计及其技术数据,以确认在选择和安装部件时采取了正确的措施,避免过早的损坏和故障(例如,标称误用,安装有误,通风不充分等)。

7.2.5 老化敏感部件的识别

应确立对老化敏感的设备或部件清单,见第 6 章。附录 B 对描述 I&C 老化现象的特征给予了指导。

应通过对老化机理相关数据的评估获得该清单。宜在考虑运行经验、专门知识、试验(见第 8 章)以及对核电厂工况的理论分析过程中识别可能的或实际的老化机理。考虑的设备和部件包括由组成对核电厂安全起作用的 I&C 系统和设备再细分出来的所有物项(7.2.3);在确定设备或部件对老化的敏感性时宜考虑以下几点:

- a) 存在可能导致应力并诱发老化机理的环境条件的特定区域(7.4.2);
- b) 可能导致应力并诱发老化机理的设备功能状态(7.4.3);
- c) 设备设计、失效分析(7.2.4)和环境保护等级;
- d) 试验或维修活动(预防性的和纠正性的)通常在设备上进行,以减轻老化机理的影响(第 8 章)或确认其后果;
- e) 包含有预定寿期的部件的设备(设计技术规范或鉴定要求给出的);
- f) 可能受老化影响的资源支持(7.7)。

7.3 评估 I&C 设备的老化降质

应评估 7.2 确定的 I&C 部件的老化降质,评估过程需考虑设备在整个寿期内可能承受的应力,6.2 讨论了引起老化的内应力和外应力。

评估的目的包括:

- 定量或定性地评估可能的或实际的老化降质,或指示发生老化降质的参数;
- 如有必要,确定适当的防范措施;
- 证明可以利用故障趋势分析结果恰当地控制老化降质的相关风险;
- 证明在随后的某一时间段内确保达到要求的核电厂安全水平。

依据设备设计和鉴定的原则,有两种评估方法是可接受的:

- a) 分析的方法。如果设备的鉴定明确要求指明部件的寿期并且设备的设计允许这样做时,可以采用分析的(包括数学分析的)方法进行评价。这可以作为一个管理要求。

分析的方法宜基于部件预期寿命的计算,并定量地考虑设备应力史以及老化机理的数学模型;这样可以界定设备和部件的寿期末日期以便更换。例如,已有采用阿伦纽斯模型的计算来确定某些设备的预期寿命。这种方法主要涉及安全壳内事故后工况使用的设备。为了得出新的鉴定寿命,可使用最初的鉴定(通过预老化)数据,用阿伦纽斯模型重新计算设备的使用寿命。

应指出的是,要在使用中证明使用诸如阿伦纽斯这类模型的合理性及其置信水平,并且不得由此断言代表所有类型的部件或较长的鉴定寿命。

- b) 注重实效的方法。如果没有指定设备的寿期或不能以任何置信度对设备寿期进行数学建模时,宜采用一种将设备测试、外观检查、运行经验和工程判断组合在一起的方法。此方法对于具有指定的部件寿期的安全壳外设备也适用。用这种方法可以构成定性的判断,以便:

- 1) 无论是否具有保证核电厂安全的设计要求,都要在部件的使用寿命内尽早预测或发现可能发生降质的迹象;
- 2) 规定对开始发生老化降质的适当响应,如果必要,可采取修复措施(包括修理或更换)来保证要求的安全水平。

用这种方法获得的设备寿期末是基于实际的结果,而不是理论的寿期。实际应用时可将前面提及的分析的方法和注重实效的方法两者结合起来。

7.4 老化应力

7.4.1 一般要求

应根据随时间变化的环境和运行条件来分析所选的 I&C 有关的老化应力。6.2 描述了导致过早老化的应力。为了选择物项(见 8.2),在确定设备对老化的敏感程度时(见 7.2.5)以及在评估所选物项(见 7.3)的实际老化降质时要考虑老化应力。

宜根据所考虑的老化机理(见 7.2 和第 6 章)以及评估老化降质的方法(见 7.3),针对过去、现在的工况和将来的预计工况进行内应力和外应力的适当测量和评估。

7.4.2 对老化起作用的外应力

在确定对 I&C 设备的老化起作用的外应力时宜考虑下列因素:

- a) 环境条件,根据设备在核电厂内所处的位置确定;
- b) 与安装位置或与运行和维修要求有关的特有的应力(热源、辐射源附近,以及为了维修或试验,频繁的拆装);
- c) 每个 I&C 设备电源的品质。

7.4.3 对老化起作用的内应力

在确定对 I&C 设备的老化起作用的内应力时应考虑下列因素:

- a) 与 I&C 设备功能相关并与老化机理相关联的运行工况参数(压力、温度、辐射、湿度、振动等);
- b) 操作频度;
- c) 可能由设备或系统运行可能引起的内应力(例如,机械触点动作的次数,通电发热等);
- d) I&C 设备及其技术数据的检查,以确认在安装和维修期间采取了正确的预防措施,以保证其规定的运行,并避免过早的损坏和故障(例如,标称误用,安装有误,通风不充分等)。

7.4.4 应力史和不安全的工况

在确定影响 I&C 部件老化的应力史(随时间)时应考虑下列因素:

- 根据生产制造日期、安装日期以及开始运行的日期确定的设备使用时间和运转周期;
- 估计的每个使用周期内运行的次数;
- 更换前指定的寿命。

宜对影响 I&C 设备的任何运行条件的变更进行评价,因为它们对降质的速率有影响。这种变更可以是明显的阶跃变化,或是在一段时期内逐渐发生的。

- 与特定位置相关的环境条件随着时间发生变化是可能的。要考虑诸如在附近安装新的或附加的设备、采暖和通风设备的变更、核电厂运行模式的变更,这些因素都要考虑。
- 宜考虑核电厂瞬态和 I&C 辅助系统失效的状态导致环境条件和运行工况发生重大的临时变化(极端工艺过程、电源浪涌、H&V 丧失、过热、极端气候)。
- 可能需要评价的某些维修状态(大修、修改、针对技术规格书的限值进行的非常规测试)。

该分析中宜包括备件的贮存史,包括在核电厂接收之前的。

7.5 设计功能与鉴定

7.5.1 设备技术规格书和鉴定

原型设备是为在特殊的运行条件下的运行指定的,并按其规定的功能通过试验或分析鉴定。为了确定老化影响是否比最初预期的更为严重,应对照实际的运行条件核查设备的技术规格书和鉴定报告。

7.5.2 对鉴定假设的影响

老化评估的主要目的之一是验证设备鉴定的结果持续有效,而设备鉴定可能并未包括设备性能随老化而降质的假设。应根据老化评估发现的问题对设备鉴定进行审查。

7.5.3 老化模型的适用性

宜就所报告的装置中部件的降质情况定期核查可能已在鉴定的老化顺序期间使用的老化加速定律(例如,阿伦纽斯理论)的适用性。该经验反馈有助于确定加速老化模型的置信水平以及修改设备鉴定寿命的必要性。

7.6 监督试验和维修要求

7.6.1 维修和监督试验程序

对于按照 7.2 的要求选择的设备应确定并定期实施相关的维修和监督试验程序。

7.6.2 来自运行和维修研究的老化证据

应核查设备故障和修理、例行维修和定期试验的记录,确定是否有证据证明存在有因老化的性能降质情况。

7.6.3 样品试验

如果其他来源没有适当的数据可用,应指定特定的样品试验。

7.7 资源支持

应确定与对安全重要且对老化敏感的设备和系统的运行和维修相关的其他资源。这些可包括：

- a) 人员的技能资源；
- b) 文件资源；
- c) 测试和校准工具；
- d) 趋势信息(例如绝缘电阻测试结果、响应时间、信息等)；
- e) 从其他核电厂获得的经验。

7.8 文件要求

将按照 7.2 的要求选择的 I&C 设备和部件的所有分析结果汇编成文件。此外,宜选择适当的方法和方式总结并提供相关的老化管理数据,维修和更新详细信息和原始资料。

应定期地更新老化评估。9.6 给出了老化管理过程文档化的要求。

8 老化控制要求

8.1 一般要求

本章给出了实施必要缓解行动的要求和建议,通过规定 I&C 老化管理的具体方法例如改进测试和维修或“老化控制”程序来抵消老化的影响。

8.2 老化控制程序的确定

应根据老化评估的结果(见第 7 章)制定所选物项的“老化控制”程序。程序由适当方法的应用和行动组成,以便:

- 在部件的使用寿命内尽早预测或发现其性能可能降质的迹象；
- 制定对老化降质开始的适当反应,必要时采取修复措施,以便保证规定的安全水平。

该程序可作为现有的(预防或预测)维修大纲的一部分。

I&C 设备的维修应适当,与 I&C 老化对安全的影响相适应。

所有按照 7.2 的要求选择的物项其老化控制程序应在定期复审后进行更新和完善。

8.3 I&C 老化管理措施

I&C 设备的老化控制宜包括下列措施：

- a) 定期的测量和试验。可验证 I&C 设备的性能(响应时间、校准等),还可验证发生老化后部件特性的所有变化(传感器、变送器等)。测量的目的是确认老化尚未导致部件出现不可接受的降质。如果不能测量 I&C 部件的准确性能,宜进行保守的评估,确定部件性能是否可接受。应按适当的时间间隔进行定期测量(每个循环中一次,例如在正常运行期间、热备用条件下,启动或关停期间,或当核电厂处于冷停堆时的换料停堆期间)。
- b) 更换部件。
- c) 通过优化维修程序,改变设备运行或周围环境条件,或采取行动将设备性能恢复到验收准则的范围内,来控制 and 减缓老化过程。
- d) 对因老化已表明开始降质或偏离技术规格书要求的部件实施较为频繁的试验。
- e) 功能特性的调整(重新校准,改变整定值等),以考虑可接受的老化降质。
- f) 可靠性分析和性能数据的趋势分析。

注:特性的改变主要涉及系统的模拟量部件,例如传感器、电缆、放大器和变送器。

附录 C 和附录 D 给出了可用于验证性能和评估 I&C 设备老化状态的检测技术的实例。

9 组织机构

9.1 一般要求

本章给出了关于老化管理过程的组织机构的要求,包括确定长期策略、I&C 生命周期、质量控制和报告。

9.2 老化管理的组织机构

老化管理过程的组织机构应保证充分覆盖所有的安全方面。老化管理过程宜包括若干连续的行动,典型的由下列行动组成:

- 更新现行的维修大纲;
- 制定修理或更换的方法;
- 执行核电厂和设备的监督;
- 收集和分析数据;
- 启动新的研发工作。

应协调不同组织机构的活动,这些组织机构对老化管理行动具有其特定的和互补的作用。活动涉及中心管理部门,设计人员、采购、现场作业、供货商、维修部门、操作人员等。老化管理过程的不同行动将影响由这些团体实施的各种不同的活动。典型的是:

- 运行的维修,通过适当的修理或更换,实现核电厂设备的持续更新,保持 I&C 部件的可靠性;
- 非常规维修,重大修理或更换的计划和预测;
- 大修和(或)定期安全评审,产生正式的证据,证明在指定的时期内(例如十年)实现了适当的老化管理;
- 电厂寿期计划,协调未来研究和开发的策略;
- 管理人力资源,预测未来对受过充分培训的人员的需求。

9.3 确定长期运行策略及 I&C 的生命周期

宜确定核电厂的长期运行策略,确立相应的 I&C 生命周期管理策略。应确立安全有关的 I&C 老化管理的对象和目标。

在首先考虑安全时,核电厂管理者的老化管理策略也需重视经济风险评估和资产管理。

无论管理者选择哪一种老化管理策略,都应证明适当地解决了安全问题。如果选择不对 I&C 进行更新改造,则需要考虑的安全问题应包括潜在的风险。这可能会要求进一步研究可能存在的老化机理及其影响,分析假设的因老化效应或技术老化导致的状态。

如果选择对 I&C 进行更新改造,则应执行许可证申请过程。对于新建的或改建的核电厂,I&C 的初步设计和生命周期的规定均宜考虑老化问题。

9.4 负责长期维修 I&C 设备的组织机构

宜由与安全、经济和技术层面相关的核电厂管理人员制定长期维修策略。

针对不同的 I&C 设备采用的长期维修策略宜与根据老化评估确定的缓解和监督行动相适应。

组织机构宜考虑:

- a) 与设备制造商的关系;
- b) 组建维修团队;
- c) 配备相同种类成套设备的核电厂数量;

- d) 核电厂管理者在技术维修作业中的作用；
- e) 维修工作的外包程度。

长期监督策略宜包括：

- a) 与系统集成商和原始设备制造商的合同规定；
- b) 监督制造商持续供货的能力；
- c) 监督部件的报废(软件和硬件)；
- d) 备件库存要求；
- e) 经济分析(报废的成本和(或)导致核电厂不可利用的成本)。

9.5 质量保证

本标准的要求建立在具备一个与 HAF 003 的要求一致的质量保证大纲的基础上,该大纲作为核电厂项目的组成部分对各项基本活动提供控制。

宜将 NB/T 20026—2010 的要求用于确立质量保证大纲以及所有的相关活动,以实现并验证老化管理过程要达到的质量。

9.6 报告

宜用报告的形式将老化管理过程完整地形成文件,该报告描述了组织机构、方法以及老化控制程序各阶段的结果,归纳历史的测试数据和分析报告,并对将要采取的减轻老化过程后果的行动提出明确建议。

应提供符合本标准所有安全相关要求的证明文件。

可要求向核安全监管部门提交 I&C 老化管理的证明,用于许可证申请、定期安全评审、核电厂延寿或特殊情况下的设备定期再鉴定。

应对形成文件的、按照 7.2 的要求所选的 I&C 设备和部件相关信息的数据库进行维护。宜在该数据库中对获取的老化机理及其对设备影响的内容进行协调。

附 录 A
(资料性附录)

本标准与 IEC 62342:2007 相比的结构变化情况

本标准与 IEC 62342:2007 相比在结构上有较多调整,具体章条编号对照情况见表 A.1。

表 A.1 本标准与 IEC 62342:2007 的章条编号对照情况

本标准的章条编号	对应的 IEC 62342:2007 的章条编号
1	1
—	1.1
—	1.2
—	1.3
3.1	3.2
3.2	—
3.3	—
3.4	3.3
3.5	3.4
3.6	3.5
3.7	3.6
3.8	3.7
3.9	3.8
3.10	3.10
3.11	3.11
3.12	3.12
3.13	3.14
3.14	3.15
3.15	3.16
3.16	3.17
3.17	3.19
3.18	3.20
—	3.1、3.9、3.13、3.18
4	—
4.1	—
4.2	1.1
4.3	1.2
4.4	1.3
—	4

表 A. 1 (续)

本标准的章条编号	对应的 IEC 62342:2007 的章条编号
附录 A	—
附录 B	附录 A
B. 1	A. 1
B. 2	A. 2
B. 2. 1~B. 2. 5	A. 2. 1~A. 2. 5
B. 3	A. 3
B. 3. 1	—
B. 3. 2	A. 3. 1
B. 3. 3	A. 3. 2
B. 3. 4	A. 3. 3
附录 C	附录 B
C. 1	—
C. 2	B. 1
C. 2. 1~C. 2. 4	B. 1. 1~B. 1. 4
C. 3	B. 2
C. 3. 1~C. 3. 2	B. 2. 1~B. 2. 2
C. 4	B. 3
C. 5	B. 4
C. 5. 1~C. 5. 3	B. 4. 1~B. 4. 3
C. 6	B. 5
附录 D	附录 C
D. 1~D. 8	C. 1~C. 8

附 录 B
(资料性附录)

表征 I&C 老化现象以及获取核电厂 I&C 部件老化管理数据的指导

B.1 应力因子、老化机理以及老化对不同的 I&C 设备的影响的实例

应力因子、老化机理以及老化对不同的 I&C 设备的影响的实例如下：

- a) 高湿度会增大继电器触点的点蚀和侵蚀。
- b) 高湿度会加速无适当密封或无润滑油保护的旋转部件的轴承磨损。
- c) 暴露于潮湿环境可导致绝缘导线层间分离。
- d) 潮湿可能使电介质完整性丧失。
- e) 高湿度或与水或与化学品接触可能导致无保护的结构受到腐蚀。
- f) 振动和机械冲击可能使部件错位或松动,还会丧失电接触的完整性。此外因振动和机械冲击,传感器部件和冷加工的导线可能出现金属疲劳。活动部件失调加速磨损,使电接触变得不紧密,导致与热相关的降质。电连接及绝缘的损坏或位移将使电连续性和绝缘出现问题。
- g) 维修作业中重复拔插电子卡件或元器件(例如可编程的只读存储器),可能因引脚变形导致电连接的性能变坏。
- h) 辐射可分解有机绝缘材料中的抗氧化的化学物质,产生的脆化与高温导致的脆化类似。
- i) 辐射环境对电子和光纤元器件有影响。
- j) 电子元件在超过规定的最大电源电压工作时,可能会诱发磨损失效机理,降低电子元件的平均寿命。
- k) 过度的充放电可导致电解电容过早损坏。
- l) 高温环境可导致有机绝缘材料脆化。
- m) 温度升高是加速带有电解液的电容器老化的主要机理。
- n) 某些电子元件(例如二极管、电阻器)在高温环境条件下持续工作会使设备超过允许误差或性能规范指标,促使电路漂移,导致早期耗损失效。
- o) 半导体元件的耗损通常与诸如金属迁移、热电子效应、金属间结合键和热疲劳这样的失效机理有关。到目前为止,一致认为这些元器件(电子晶体管、集成电路(ICs))在它们标称的运行环境下几十年来工作状态稳定。但是,最新一代的高密度集成电路的设计寿命目标则短的多。虽然这对于大多数消费品影响不大,但对核电厂安全装置(基于微处理器的)用的元器件的类型宜给予特别关注。
- p) 电子电路的反复触发可能使局部温度和 EMI 达到峰值,导致个别元件状态降质。

B.2 老化管理数据

B.2.1 基准数据

基准数据给出了老化管理的基本参考点。它描述的是部件和系统的竣工状态以及就位后最初的性能。除此之外,性能监测的基准数据例如温度和压力传感器的响应时间测试数据非常重要。

基准数据很少以便于和运行以及维修数据或与诊断测试结果相关联的方式贮存。通常需要利用来自各种原始资料的信息将这些数据按照适当的格式进行汇编。这些原始资料包括设计规范、制造商的

技术规格书、技术手册、采购单、设备鉴定报告,验收测试记录,安装和调试记录,测试和性能测量报告以及安全分析报告。

B.2.2 运行记录

运行记录可以提供有关整个使用寿命期内影响部件应力的历史数据。理想情况下,数据应包括的信息涉及核电厂工况和瞬态、周围环境条件、可用性和(或)可利用率图表。和基准数据一样,该信息通常可利用,但构成方式不一定便于分析。

B.2.3 试验和维修记录

检测和维修记录应包括日常维修活动、故障和修理、例行的功能和校准核查以及响应时间测量的记录。对于基于计算机的设备,还可能包括自诊断数据。

如与适当的模型结合起来,试验和维修记录可用于评估与使用年限相关的降质程度,预测未来的发展趋势。

B.2.4 未记录的数据

理想情况下,设备历史记录要含有评估所需的全部信息,但实际上不可能做到。对设备作定期维修的富有经验的维修人员有可能了解设备或运行环境的历史发展趋势。这些有价值的信息通常并未记录,容易丢失。宜采取措施,通过访谈和其他方法找回这些未记录的数据并重新进行整理。形成的维修记录表宜含有评论和观测资料记录。

某些个人掌握许多老的 I&C 设备的信息,由于他们退休或其他原因,这些信息在某个阶段不可获取,其中许多信息不可避免会丢失。要想把这些信息从个人手里完整收集回来不现实,这种情况下实际可行的做法是与掌握信息的人员沟通,以确定:

- a) I&C 设备当前的问题和可能的根本原因;
- b) 预期的设备性能或可靠性问题;
- c) 很难提炼总结的具有“一次性”特征的历史问题。

已有确定的方法来收集这类信息。这些方法通常为核电厂工作人员定义了结构化的问题系列。值得注意的是,沟通并不宜仅限于对维修人员;运行人员、工程人员同样也掌握有有价值的见解和信息。

B.2.5 其他数据资源

老化评估不宜限于本地数据。也要寻求其他来源的资料,包括其他核电厂、用户的报告和其他工业领域的研究计划。

B.3 测试和监督

B.3.1 一般要求

下面给出的 I&C 设备的测试、监督、诊断或维修活动的实例,以识别由于老化和其他效应导致的性能降质。

B.3.2 现场测试

近年来,新的测试和维修技术可以提供有价值的信息供 I&C 设备老化管理使用(参见附录 C 和附录 D)。利用数字测试设备、可以进行自动化数据趋势分析,以便确认因老化或其他效应导致的性能劣化。新的分析工具例如可以在基于个人计算机的测试设备上实现的神经网络、人工智能,模式识别,可以分析数据并解释结果,识别设备性能上发生的微小变化,并提醒操纵员发生了重大问题或早期故障。

应用实例包括仪表通道的在线校准验证；采用回路电流阶跃响应法(LCSR)对热电阻(RTD)和热电偶(TC)进行现场响应时间测试；采用噪声分析技术对压力变送器的响应时间的在线测量；电缆和连接件的现场测试；在线探测压力传感传输管线的堵塞和空泡；温度传感器和应变仪对固体物质附着情况的远距离测试。附录 C 给出了更多信息。

B.3.3 状态监测

包括核电产业在内的很多工业逐渐对状态监测感兴趣。新的预防性维修技术提供了性价比好的工具，例如基于个人计算机的数据采集和分析系统，当核电厂运行时，可定期或连续地帮助监测设备的性能。这有助于证明直到发现故障或设备性能的劣化超出极限值之前，运转设备而不必定期进行验证测试的合理性。状态监测成功应用的实例是压力、水位和流量变送器的在线漂移监测。通过在线监测，可识别漂移超出了规定的可接受限值的压力变送器，对这样的变送器需要进行校准。没漂移的不需校准或不需频繁进行校准。这有助于优化压力变送器校准的频度，并可将这个做法扩大到其他工艺过程仪表。状态监测不仅适用于传感器和变送器，还可用于仪表通道的其余部分。

B.3.4 环境监测

监测 I&C 设备承受的温度、辐照、湿度以及其他条件，可用于老化管理和延寿。设备的使用寿命通常是由制造商根据设备在正常运行期间预期可能承受的条件规定的。如果设备在较为严酷的环境条件下使用，其使用寿命会随环境条件严酷度的增加而缩短。所以监测获得的证据可以用于延长 I&C 设备允许的运行时间。但如果设备用于较为和缓的环境，其预期寿命一般要长于制造商指定的寿命。

附 录 C
(资料性附录)

核电厂所选 I&C 部件老化管理的实例

C.1 一般要求

本附录是基于国际原子能机构 (IAEA) 的一篇关于核电厂 I&C 设备老化管理的报告: TECDOC-1147(2000 年 6 月)。该报告选择了一些老化管理重要的 I&C 设备,然后给出了管理这些设备老化可采用的过程的实例。本附录中给出了该 IAEA 报告的概要以及核电厂 I&C 设备老化的一些补充信息。

C.2 电子和电气设备的老化管理

C.2.1 老化效应

高温以及温度的周期变化是电子设备和电路老化的主要原因。制造商利用这些效应加速老化,促使不合格的物项发生早期失效,以便在出货前将这样的物项剔除。针对电子元件的失效率普遍使用的浴盆曲线(见图 C.1)被用于表达关于设备使用寿命的三个阶段的理念:

- 早期失效阶段(老炼);
- 正常使用阶段;
- 寿期末阶段(耗损)。

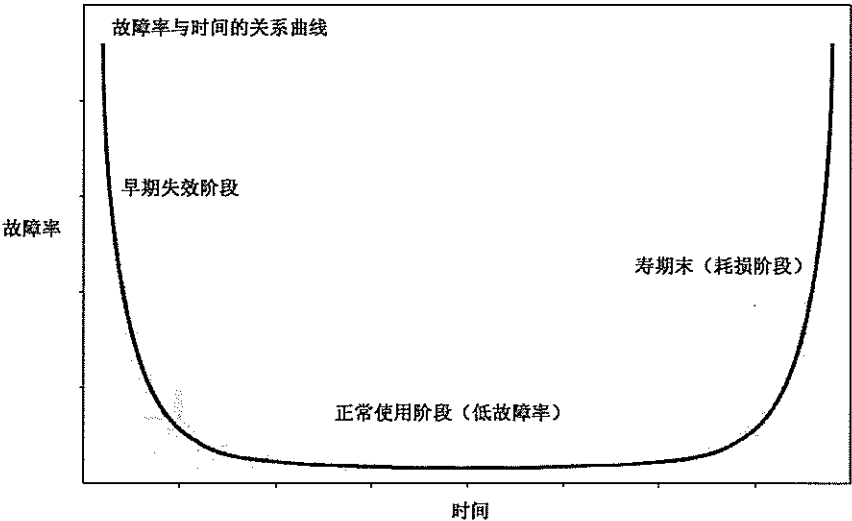


图 C.1 电子部件失效率的浴盆特性曲线

在产品测试期间制造商经常利用早期失效阶段,以提供可靠产品。否则这些故障会在试运行或早期运行阶段显现出来。运行的后两个阶段则直接与老化有关。在正常使用阶段,电子元件的可靠性有公认的模型和参数可用。而在寿期末就没有可比较的公认模型了。其实,已知类似应用中相同部件之间有明显不同的寿期,因此,寿期末模型往往是与具体应用相关。倘若考虑中的特定设备的性能和运行工况有充分的历史数据可用,则可以开发估计寿期末的经验模型。

- 在制定老化管理策略时,有一些与电子部件有关的特殊机理宜予考虑:
- 过电压;

- 启动或电源上电次数；
- 静电放电。

下述条款描述了一些电子部件的老化管理程序。但在考虑各个物项之前，重要的是要意识到初步设计质量不佳会对设备的老化产生显著影响。设计缺陷的实例包括：

- 为很少操作的旋转开关选择了不正确的触点材料，这样触点可能氧化并使正确功能中止；
- 继电器的触点材料选择不正确，低电流可能使触点上的氧化物逐步累积，导致电阻增大而可能失效；
- 非能动或能动设备额定功率的技术规格不适当；
- 设备通风或冷却性能差。

C.2.2 电解电容的老化管理

电解电容的主要老化机理是电解液通过端盖的密封泄露。这是个与橡胶密封有关的特殊问题，如果橡胶性能(严重)降质，会形成电解液泄漏通道。温度为 20 ℃ 时，一个典型的电解电容的老化过程可能需要 10 年，高温下则可加快这个老化过程。增加对新型密封材料的使用降低了发生该问题的程度，但许多老的元件仍在使用，所以仍会发生这种类型的故障。

电解液的流失增大了等效串连电阻(ESR)，减小了电容容量。最后电容会因开路或短路而失效。该失效可能是灾难性的，失效的后果会因电容在电路中的使用方式不同而不同。ESR 的增大提高了内部温度，并且又因温度升高导致 ESR 增大，从而可能引起热失控，最终使元件损坏。

如果发生电解液泄漏，应立即更换电容。可以采用多种措施避免电解液流失的后果，例如：

- 定期更换；
- 如果发现第一次故障，更换所有类似的元器件；
- 使用额定温度比要求更高的装置；
- 定期测试和(或)监测元器件和插件、泄漏电流、电容容量值、ESR 和功率因数。这可包括以最大的额定温度和额定电压对抽样元器件进行耐久性试验；
- 测量元器件的温度；
- 测量电源的纹波电流。

限制电解电容的保存期限，只要可能，宜使用新的部件。

C.2.3 熔断器的老化管理

当电路加电时，其初始瞬变电流可能是额定电流的 3~4 倍。慢熔式熔断器不会因这样的短时瞬变而熔断，但熔断器的材料会通过汽化而损失掉。熔断器材料损失的累积会降低熔断器的额定值，以致在使用后期出现假故障。

由于设备的寿期与启动次数有关，唯一有效的老化管理技术是预防性维修。预防性维修可以有条件的维修；如果发生第一次熔断器的假故障，就将一套设备的所有熔断器更换掉。

在发生随机故障时，普遍的错误做法是提高熔断器的额定值。事实上该故障可能与使用年限有关，而提高熔断器的额定值会使熔断器提供的保护降低。应避免这种做法。

C.2.4 继电器的老化管理

下面是一个标准电磁继电器的三个元件，有可能是继电器易于老化的薄弱环节：

- 线圈；
- 触点；
- 附件，例如触点簧片、插头、底座、时间延迟装置。

继电器线圈的老化是发生在连续加电的继电器上的主要问题。因线圈或相关元件可能产生过多的热使线圈烧毁，或使继电器中的元件或临近的其他元件受到有害的影响(例如，漆料的化学损坏污染触点，或使元件尺寸改变)。热可导致气囊式延时继电器中的膜片脆化，使设定值发生漂移。

继电器的触点可能因下列 4 个主要机理发生老化：

- 常开触点(NO)的氧化，或因触电材料不适合于实际负载而产生触点氧化。该问题与电流过

- 低或过高均有关；
- 由于过电流(可能因转换电感负载引起)，使触点发生烧结或烧蚀；
 - 化学浸蚀，例如继电器使用的高含硫量的橡胶元件，因温度或化学浸蚀可能使内部附属部件发生变形；
 - 继电器触点在低负载下循环动作。

一个良好的原始设计永远是重要的。宜考虑对继电器系统周围环境的适当控制。含有很多通常带电的继电器的系统会产生大量的热，为防止温度过高，宜将热量排出。

为进行老化管理，宜按批次对继电器进行检验和检测，保证在交付使用前能发现元件的制造缺陷。使用期间宜定期进行目视检查(外观检查)，以识别任何的化学损坏或元件或触点的降质。在特殊环境下使用时宜经常清洗继电器的触点。

现有的供继电器现场测试的其他程序可用于老化管理；例如热信号分析、触点电阻测量或时间行为(例如响应时间)的评估。

大多数继电器的动作次数是额定的，其寿期取决于继电器的使用方式。核电厂运行期间连续不断动作的继电器或加电的继电器(例如簧片式继电器多路模拟开关)宜定期更换。

C.3 温度和压力传感器的老化管理

C.3.1 老化效应

老化会影响传感器的稳态(刻度)和动态(响应时间)两方面的性能。例如，电阻温度探测器(RTD)和热电偶的密封可能因干燥、收缩或开裂而失效，致使潮气进入传感器导致绝缘电阻降低。这样会使温度测量出现错误。由于绝缘电阻可能随温度发生急剧变化，所以这种错误通常是温度依赖型的。温度传感器的潮气还会在传感器的输出端引起噪声；噪声幅度随传感器上温度和潮气量的不同而不同。对于装有温度计套管的 RTD 和 TC，响应时间变坏是个重要问题。经验表明，随着使用年限延长，这些传感器可能逐渐丧失与温度计套管的机械接触，由于两个接触面间的气隙加大，传感器的响应时间会显著增加。同样，长时期处于工艺过程运行条件也会改变传感器的响应时间。

由于热、湿和其他工艺过程条件的影响，压力传感器的刻度可能因老化而改变。如果这些应力源引起变送器密封材料(它们是保护变送器不受周围环境损害的)失效，湿气进入变送器的外壳，会引起刻度偏移，还可在变送器输出端产生高频率的噪声。最终该问题可能导致变送器功能丧失或不可靠。表 C.1 给出了老化效应以及影响核电厂压力变送器性能的后果。

核电厂压力变送器的另一个性能问题是将工艺过程的压力信号送到变送器的信号传输管线发生堵塞。典型的信号传输管线的长度为 30 m~300 m。这些管线可能部分或完全被污泥、结晶硼以及反应堆冷却剂中的其他碎片堵塞，导致压力传感系统的动态特性反应缓慢。正如附录 D 描述的，如果核电厂采用噪声分析技术进行在线检测就可以发现该问题。这样做还可以探测到压力信号传输管线中的空气。尽管高压下空气会溶解到反应堆的水中，但经验仍表明核电厂变送器的信号传输管线可能存在空气。这些空气可能导致指示值发生误差，响应时间出现问题。

表 C.1 老化对核电厂压力变送器性能的潜在影响

降质	可能的原因	影响的性能	
		刻度	响应时间
填充液部分或全部丧失	——制造过程产生的缺陷； ——高压	√	√
填充液的黏度改变	——辐射和热		√
机械连接磨损、摩擦或卡滞(尤其是力平衡变送器)	——压力波动和冲击； ——腐蚀和氧化		√
密封失效致使湿气进入变送器的电路	——由于辐射和热，密封脆裂	√	

表 C.1 (续)

降级	可能的原因	影响的性能	
		刻度	响应时间
过程流体泄漏进入小室的填充液体使传感器中温度、填充液黏度改变	——密封失效； ——制造过程产生的缺陷； ——敏感元件破裂	√	√
电子元件特性值的改变	——热、辐射、湿气； ——电源电压的改变； ——维修	√	
波纹管 and 膜片弹性系数的改变	——机械疲劳； ——压力循环	√	√

C.3.2 老化管理方法

核电厂温度和压力传感器的性能主要取决于刻度准确度和响应时间。因此,温度和压力传感器的老化管理是通过定期进行校准和测试响应时间实现的。

对 RTD、TC 和压力变送器响应时间影响的老化管理,应使用现场响应时间测试方法,例如采用回路电流阶跃响应(LCSR)测试和噪声分析。这些方法在附录 D 中给出。另外附录 D 中还包括在线监测压力变送器的刻度、现场测试 RTD 和热电偶等的刻度的新方法。

C.4 中子探测器的老化管理

中子探测器的老化管理可作多种选择。这包括系统地预防性维修、有条件的预防性维修、预测性维修和故障维修。每种选择都有其优势及劣势。

系统地预防性维修。每次停堆(例如每隔 18 个月)更换堆芯外的中子探测器,虽然十分简单但花费很高。采用这种方式很难发现传感器有任何显著的老化现象。

有条件的预防性维修。这些条件在传感器响应曲线相关的准则中界定。因此维修人员要在运行中验证该响应曲线,测量和(或)计算各种参数。将这些参数与验收准则作比较,并根据结果实施维修。这种维修要在停堆期间进行。

核仪器仪表系统的预兆维修包括:

- a) 采用噪声分析技术现场测试响应时间;
- b) 刻度漂移的趋势分析;
- c) 探测器噪声输出的动态性能参数的趋势分析,例如探测器输出噪声数据的平均值、方差、偏度和峰度,以及噪声变量的正、负数值比;
- d) 测试中子探测器电缆和连接件。

这是管理核电厂中子探测器老化的最为有效的手段。

故障维修要等到传感器故障时执行,可能要求关停反应堆更换故障的传感器,因此对反应堆的可用性产生不利影响。

C.5 电缆和连接件的老化管理

C.5.1 老化效应

为表征老化机理和开发核电厂用的测试和监督技术已经开展了研发工作,研发工作已产生了一套评估电缆良好状态的多样化技术。该技术包括对绝缘体的化学测试,绝缘延展性的机械测试,以及对电缆导体和电缆的绝缘材料进行的电气测量。

电缆主要的老化应力有:

- 升高的环境温度或湿度；
- 循环机械应力；
- 受到辐射照射；
- 受到硼酸喷淋。

已经证实,对于所有这些应力源,每种情况下绝缘的拉伸应变都是限制因素。

就通量探测器用电缆而言,下列问题值得注意(无机绝缘电缆):

- 中子探测器用电缆的绝缘电阻及屏蔽要求比传感器如热电偶或 RTD 用电缆的要求更严格。
- 对于无机绝缘金属铠装电缆来讲,最普通的故障机理是由于机械损伤或腐蚀导致潮气的进入。监测它最为简单的测试是测量绝缘电阻。要注意,不宜采用高压测量无机绝缘电缆的绝缘电阻;典型的在冷电缆上最高宜为 100 V。
- 因为连接件本身易碎,并且可为电缆提供密封,所以无机绝缘电缆的连接件特别容易损伤。
- 宜避免扰动一体式连接件,因为电缆密封可能被破坏,要重建气密密封很困难。宜对比预测性维修中例行电缆测试的优点和缺点进行权衡。
- 无机绝缘的探测器电缆可以利用绝缘护套防止形成接地环路。如果绝缘护套被破坏,可能会增大干扰水平。

为探测 RTD 或热电偶中存在湿气和诊断电路问题,宜测量绝缘电阻、回路电阻、电容和电感,并与基准数据或与其他正常传感器的数据作比较。还可以采用 LCSR 法确定在温度传感器内是否有潮气存在,将传感器问题与电缆问题区别开。对于温度和压力传感器,老化控制计划中宜包含传感器用延长电缆和连接件的测试。在所有电缆和(或)连接件的老化控制计划中宜包括时域反射(TDR)技术。

表 C.2 概括了核电厂中传感器和其他元件的老化管理技术。该表中含有中子探测器的老化管理方法。经验表明中子探测器的响应时间随使用年限的延长而加长。这样,测量中子传感器的响应时间可监测老化效应。也可以压力变送器同样方式采用噪声分析技术进行响应时间测量。

C.5.2 电缆老化的管理

有下列两种主要方法:

- a) 实际寿命测试。这关系到在运行核电厂中安装的电缆备用样品要便于后续的拆除和测试。由于这个原因,将电缆样本贮存在靠近反应堆或蒸汽发生器的电缆间内,核电厂运行时电缆自然老化。然后将这些电缆拆出并采用下文中列出的方法进行测试。
- b) 采用现场测试法或其他措施测试现有的电缆。

有许多方法测试老化管理的电缆:

- 绝缘的目视检查,测量裂纹或裂纹的发展、电缆的颜色改变。
- 绝缘的硬度测试。仅在电缆的特定部位以及有热点的地方进行。
- 绝缘的化学分析。
- 电绝缘的测试。
- 抗拉强度的测量。
- 断裂伸长率的测量。
- 低频或扫频介电损耗测量。
- 时域反射测试。
- 交流和直流阻抗测量。

表 C.2 验证性能和监测 I&C 部件老化的检测方法

元件	性能指标	测试方法
RTD	——刻度准确度和(或)稳定性; ——响应时间和自热指数; ——电参数	——交叉校准; ——LCSR 测试; ——测量绝缘电阻、回路电阻、电容; ——自热测量

表 C.2 (续)

元件	性能指标	测试方法
I&C 电缆和连接件	——电缆导体特性； ——电缆绝缘和(或)护套材料特性	——TDR 和 LCSR 测试； ——TDR、直流电阻、交流阻抗、延展性、化学分析； ——电感(L)、电容(C)和电阻(R)测量或 LCR 测试
压力、水位和流量	——刻度准确度和(或)稳定性； ——响应时间	——在线校准验证； ——噪声分析和 PI 测试
压力脉冲管线和(或)信号传输管线	——堵塞、孔隙、泄漏； ——刻度准确度和(或)稳定性	——噪声分析； ——在线校准验证、趋势分析、经验模型和物理模型、神经网络
中子探测器	——刻度准确度和(或)稳定性； ——响应时间； ——电缆和连接件； ——探测器噪声输出的动态指标(平均值、方差、偏度、峰值)	——热平衡法计算和用放射源的常规校准； ——噪声分析； ——TDR、直流和交流阻抗的测量
热电偶	——刻度准确度和(或)稳定性； ——响应时间； ——不均匀、寄生结、反接； ——电缆和连接件； ——探测器噪声输出的动态描述(这些变量的平均值、方差、偏度、峰值以及比值)	——交叉校准； ——LCSR、噪声分析； ——LCSR 测试、绝缘电阻测试、回路电阻测试； ——TDR、LCSR、直流和交流阻抗测量

大多数的测量要求用基准数据进行比较和解释。因此应建立一个电缆特性数据库,定期重复进行电缆检测,以识别与基准数据相比任何明显的改变。可以使用类似装置的电缆特征值代替基准数据。

C.5.3 连接件的老化管理

连接件的主要老化机理是机械磨损和触点氧化。只要连接件被干扰(或扰乱)会导致机械磨损。机械磨损和氧化都会使触点阻抗增加,从几欧姆的改变直至完全断路,阻抗增加的结果取决于在电路中以什么样的方式使用连接件。一个开关电路可以承受微小的电阻增加。但若是在一个灵敏的模拟电路中(例如处理非常低的信号电平的电路),微小增加的电阻可能造成重大影响。

只要可能,宜使连接件不受触动。因为连接件反复地断开和连接可能导致机械磨损。这点对印制电路版(PCB)插头座尤其重要。

连接件安装前宜进行热风干燥,有助于消除潮湿导致的故障。建议将备件贮存在惰性气体(氮)中。对使用中的连接件可进行热图像扫描,以指示高阻点,提供故障预警。

使用 TDR 或 LCSR 技术测试 RTD、TC 和中子探测器的经验表明,这些技术也还可以发现连接件的问题,尤其是在有基准数据可作比较时。

C.6 正常运行工况和事故后工况的应用

这里提出的方法是要保证 I&C 设备不仅在正常运行期间而且在事故后工况下也能正常运行。例如,I&C 电缆(以及动力电缆)应在任何时间,特别是在事故发生期间或事故发生后,正确地执行它们的功能。这里描述的老化管理方法将为事故后工况下的可靠运行提供保证。

附 录 D
(资料性附录)

I&C 老化管理的测试和监督技术实例

D.1 在线校准验证

根据现有的规程,许多仪表是手动校准的,典型的要求每个运行周期至少校准一次。近 30 年的校准结果表明,一个运行周期后大部分仪表都没有超出允许误差,因此没有必要每个运行周期校准一次。该结果已促使核工业设法通过在线漂移监测延长仪表校准的时间间隔。这项工作包括记录和分析核电厂运行期间仪表的稳态输出,以识别仪表输出中的漂移和其他异常问题。对于冗余仪表,可以比较多重仪表的读数,区别过程漂移和仪表漂移。在这情况下,可利用平均技术(简单平均法、加权平均法和奇偶空间法等)估计过程参数值。对于非冗余的仪表,利用神经网络和模式识别原理的过程经验模型,或其他技术以及物理模型用于估计该过程。该估值宜频繁更新,并与相应的仪表输出值作比较,以发现仪表输出中的任何漂移。

D.2 在线探测文丘里管的积污

除了在线验证过程仪表通道的刻度外,过程经验模型、模式识别和神经网络技术是在线探测单个仪表或核电厂中的性能问题的有效工具。例如文丘里流量元件会积污,导致流量指示错误。这关系到安全和经济。直至今,还没有有效的方法监测文丘里管的污垢。在某些核电厂,安装了新型超声波传感器独立监测流量,跟踪文丘里传感器和超声波传感器的偏差,作为检测文丘里管污垢的一种手段。监测文丘里管污垢的另一种方法是采用建模技术跟踪流量,并与文丘里管的流量指示结果进行比较,以识别文丘里管的污垢情况。

D.3 压力变送器的现场响应时间测试

准确度和响应时间是表现压力变送器性能的两个最为重要的指标;业已开发的在线测量方法用于监测压力变送器的准确度和响应时间。关于在线校准技术前面已经提及。使用噪声分析技术在线测量压力变送器的响应时间。该方法是基于记录核电厂运行时自然存在于大多数过程传感器输出的随机噪声。该噪声可以频域和(或)时域的方式进行分析,给出变送器的响应时间。业已证实,该方法用于测试压力、液位以及流量变送器的响应时间是有效的。

对于力平衡压力变送器的现场响应时间测试,除了噪声分析技术以外,也可用一种称为供电中断(PD)检测的方法。该方法的细节以及上面提及的其他技术的细节在 IAEA TECDOC-1147 以及其他若干出版物中作了介绍。

D.4 在线探测脉冲管的堵塞

脉冲管是将过程压力信号传输到传感器的细小管线。典型的脉冲管长度为 30 m~300 m,具体根据核电厂的使用情况而定。脉冲管上通常设有隔离阀、根阀、缓冲器或其他部件。脉冲管上任一阀门或其他部件失效都可能导致管线部分或全部堵塞。此外更重要的是,脉冲管可能由于反应堆冷却剂系统中经常存在的污垢和沉淀物而发生堵塞。信号传输管线的堵塞致使在检测传输过程压力、水位或流量

的变化时发生延迟。在某些核电厂中,由于污垢或阀门问题造成的信号传输管线堵塞使压力检测传感系统的响应时间从 0.1 s 延长到 5 s。利用噪声分析技术进行在线测量可以识别该问题。

D.5 电阻温度探测器(RTD)和热电偶(TC)的交叉校准

可以在等温条件下采用交叉校准技术对冗余的 RTD 和 TC 进行现场校准。这包括一个多通道数据采集系统,用于快速记录核电厂启动和停堆期间处于温度直线升降状态或温度稳定状态下的冗余的 RTD 和 TC 的温度指示值。将这些温度指示值平均后,计算每个 RTD 或 TC 与所有 RTD 温度平均值的偏差(不包括异常值)。异常的 RTD 一旦被确认,将从数据中剔除,然后修正核电厂所有环路之间或冷段和热段之间的温度波动和温差数据。修正完毕后,确立了 RTD 新的平均温度,并计算每个 RTD 和 TC 与新的平均温度值的偏差。

交叉校准测试通常是在核电厂启动或停堆期间的几种温度条件下进行的。采用这种方法,如果发现有 RTD 超出允许误差,则可以用在三种或三种以上的温度条件下取得的交叉校准数据编制一份新的 RTD 校准表。如果确认 TC 也有大的偏差,可对他们进行调整,以使 TC 相互间符合并与 RTD 一致。

可以从核电厂计算机系统上检索到 RTD 和热电偶的交叉校准数据或从专用的数据采集系统获取到 RTD 和热电偶的交叉校准数据。无论是从哪里获取的数据,生成的温度传感器的校准验证结果应相同。

D.6 电阻温度探测器(RTD)和热电偶(TC)的响应时间测试

RTD 和 TC 的响应时间可能随传感器的老化发生变化。许多因素可促使响应时间的老化降质。例如,振动可使 RTD 和 TC 从温度计套管向外移动,致使响应时间增加。即使是一非常小的移动都可能引起响应时间的很大变化。温度也可能引起响应时间的变化。例如传感器绝缘材料中的固有空隙可能膨胀或收缩,使得响应时间改变。由于这样或那样的原因,应采用 LCSR 方法定期测量 RTD 和 TC 的响应时间。

核电厂运行时从控制室区域远距离进行 LCSR 检测。该检测给出 RTD 的在役响应时间,并包括了所有安装和工艺过程条件对响应时间的影响。如果 RTD 使用温度计套管,由 LCSR 检测获得的响应时间包括了 RTD 和温度计套管组合的动态响应。因此,在该 LCSR 检测中也涵盖了 RTD 和温度计套管界面间所有的间隙。

为进行 LCSR 检测,需使用一个惠斯通电桥以及电流切换网络和信号调理设备。RTD 连接到电桥的其中一个桥臂,将桥电流从 1 mA 转到 40 mA~80 mA 之间的某一值。电流产生的焦耳加热(I^2R)会在 RTD 敏感元件上产生温度瞬变。逐渐增加的 RTD 电阻在电桥的输出端产生电压瞬变,该瞬变经记录并分析后可得出 RTD 的响应时间。分析是基于一个详细的 RTD 热传输模型,用这种方法虽然传感器是内部加热的,但从 LCSR 数据分析得出的响应时间与 RTD 周围的过程温度经历了阶跃变化得出的响应时间等效。实验和数学计算已经证明,源于内部加热的数据变换给出了对外部温度变化的响应。

另外一种用于 RTD 的方法叫做自热检测,以补充 LCSR 检测。自热检测与 LCSR 检测一样,用一小电流加热 RTD。在自热检测中,测量的 RTD 的稳态电阻是输入电功率(I^2R)的函数。通过对 RTD 施加三个或三个以上等级的电流(例如 10 mA、20 mA、40 mA、60 mA 等),然后测量施加在 RTD 的热 I^2R 与增加的电阻的关系。测得的数据在直角坐标系上绘制成电阻与功率 I^2R 的关系曲线。生成直线的斜率称为自热指数。自热指数(SHI)的单位是 Ω/W ,与 RTD 的响应时间相对应,但不是 RTD 的响应时间。如果 RTD 的响应时间明显增加,自热指数将增大,如果 RTD 的响应时间明显减小,自热指数

将减小。因此自热检测被用于监测 RTD 的总响应时间变化。

通常在每个燃料循环期间对核电厂 RTD 执行一次 LCSR。检测可在正常运行工况下或在热备用工况(处于或接近正常的运行温度和流量)进行。只有在带功率或在热备用工况下的 LCSR 检测才给出实际的 RTD“在役”响应时间。在其他工况下进行该项检测只是为了保证 RTD 正确地安装在温度计套管中。例如,可在冷停堆换料期间对任一新安装的 RTD 进行 LCSR 检测,保证 RTD 正确地安装在它的温度计套管中,并验证可以采用 LCSR 法检测 RTD。事实上在冷停堆期间对新安装的 RTD 进行 LCSR 检测,然后与其他的 RTD 的结果作比较相当重要,可以验证新的 RTD 且有可与其他的 RTD 相比较的 LCSR 信号,并且它的自热指数与安装在同样条件下的其他 RTD 的完全一致。新的 RTD,尤其是安装在温度计套管中的 RTD 宜在两种条件下进行 LCSR 检测,在冷停堆条件下验证其安装状况,在热备用条件下确定它的“在役”响应时间。只要过程温度的波动并不十分明显,后续检测可在带功率的条件下进行。由于温度和水流分层的缘故,如果发生大的温度波动,通常出现在压水堆的热段管道中,有两种选择方案进行 LCSR 检测:

- a) 多次重复该检测(30 次~50 次),平均 LCSR 信号,然后分析平均的数据;
- b) 在热备用工况下进行 LCSR 检测。

近年来核工业不仅对噪声分析技术测试热电偶和压力变送器的响应时间感兴趣,还对噪声分析技术用于 RTD 感兴趣。噪声分析技术的优点是不要求在检测时传感器停止工作。利用噪声分析技术,可以确认和评估 RTD 响应时间的降质。如果发现 RTD 的响应时间降质已达到不可接受的水平,则可用 LCSR 法查明响应时间并决定是否需要采取纠正行动。

一个谨慎的纠正行动包括下列步骤:

- a) 停堆期间将 RTD 从套管中拆出;
- b) 清洗 RTD 和套管;
- c) 将 RTD 重新插入套管;
- d) 重复 LCSR 和自热检测,保证结果满意。

这些步骤应该能解决 RTD 的响应时间问题。如果解决不了,则可能需要更换 RTD 和(或)温度计套管。

LCSR 法还可用于测量热电偶(TC)的响应时间。但这要求较高的加热电流以及与 RTD 不同的检测程序。因此,与前面描述的压力变送器一样,要采用噪声分析技术检测 TC 的响应时间。这是因为用 LCSR 检测 TC 可能需要较高的加热电流(大约 0.2 A~1.0 A),在某些情况下有可能损坏电缆、连接件、密封或热电偶本身。

和 RTD 不同的是,TC 不必遵从十分严格的响应时间测试要求。不过采用 LCSR 和噪声分析技术检测 TC 的响应时间,是作为验证 TC 是否处于良好状态的一种手段,并供老化管理用。如果 RTD 也不必遵从严格的响应时间要求,或测量响应时间仅是为了识别异常值,那么可以采用噪声分析技术代替 LCSR 检测来确定 RTD 的响应时间。

D.7 电缆和连接件的测试

由于一些原因,某些核电厂要检测核电厂电缆尤其是 I&C 电缆的状态,例如为识别或提出问题进行的检查和排除故障,为预防性维修和老化管理进行的基准测量。可以采用电检测、机械检测和化学检测的方法监测或确定电缆的状态。电检测的优点是能够在现场进行,且不至扰乱核电厂的运行。

电检测包括电阻测量和 TDR 检测。在核电厂,TDR 检测被普遍用于确认发生问题的电缆的位置。尤其是确定发生问题的电缆是在安全壳内还是安全壳外至关重要。例如,用 TDR 法成功检测了表现有异常行为的 RTD 电路,为维修人员指明发生问题的正确位置。TDR 技术还有助于发现电动机和变压器绕组、稳压器的加热器盘管、核仪器仪表电缆、TC、电动阀电缆等的故障。中子探测器电缆检测中

TDR 的应用也相当普遍。为了提高 TDR 检测的诊断能力,还用 LCR 检测进行补充测量。LCR 检测通常采用一个称为 LCR(电感电容电阻测定计)的检测装置,用于测量电路的电感(L)、电容(C)和电阻(R)。

为了确定电缆绝缘或护套材料的状况,除了 TDR 以外,还要测量电气参数如绝缘电阻(如果可能)、直流电阻、交流阻抗以及串连电容。应该指出的是,确定电缆绝缘材料的状态十分困难。由于没有适当的接地平面进行可靠的电气测量,检测难以成功。

在电缆的机械检测中,要测量电缆绝缘或护套材料的延展性,以确定材料是否变得干燥、变脆或易于破裂。做这种检测的设备称为电缆硬度计。用该设备压实电缆,测量电缆的相对硬度。更为重要的是测量电缆断裂伸长度。

在电缆化学测试中,可切割一小块电缆绝缘材料在实验室进行化学分析。

D.8 事故工况下 I&C 可靠性的保证

本附录描述的方法意在保证 I&C 设备不仅在正常运行工况下而且在事故和事故后工况下都能正常运行。

参 考 文 献

- [1] GB/T 4960.6—2008 核科学技术术语 第6部分:核仪器仪表
- [2] IAEA NS-R-1:2000 Safety of nuclear power plants: Design requirements
- [3] IAEA 50-C-QA:1989 Safety code for nuclear power plants: Quality assurance
- [4] IAEA 50-C/SG-Q:1996 Quality assurance for safety in nuclear power plants and other nuclear installations
- [5] IAEA-TECDOC-1147 “Management on ageing of I&C equipment in nuclear power plants,” International Atomic Energy Agency, Vienna, Austria (June 2000)
- [6] IAEA-TECDOC-1402 “Management of life cycle and ageing at nuclear power plants: Improved I&C maintenance,” International Atomic Energy Agency, Vienna, Austria (August 2004)
- [7] IAEA Safety glossary, 2006
- [8] IAEA Safety reports series no. 15, “Implementation and review of a nuclear power plant ageing management programme,” International Atomic Energy Agency, Vienna, Austria (1999)
- [9] IAEA Safety Reports Series No. 3, “Equipment qualification in operational nuclear power plants: Upgrading, preserving and reviewing,” International Atomic Energy Agency, Vienna, Austria (1998)
- [10] IAEA Safety Standards Series No. NS-G-1.3, “Instrumentation and control systems important to safety in nuclear power plants safety guide,” International Atomic Energy Agency, Vienna, Austria (April 2002)
- [11] IEC 60050-393 International electrotechnical vocabulary—Part 393: Nuclear instrumentation—Physical phenomena and basic concepts
- [12] IEC 60050-394 International electrotechnical vocabulary—Part 394: Nuclear instrumentation—Instruments
- [13] IEC 60780 Nuclear power plants—Electrical equipment of the safety system—qualification
- [14] IEC 62096 Nuclear power plants—Instrumentation and control—Guidance for the decision on modernization
- [15] IEC 62385 Nuclear power plants—Instrumentation and control important to safety—Methods for assessing the performance of safety system instrument channels
- [16] IEC 62397 Nuclear power plants—Instrumentation and control important to safety—Resistance temperature detectors
- [17] Hashemian, H. M., “Sensor performance and reliability”, The Instrumentation, Systems, and Automation Society (ISA), Research Triangle Park, North Carolina (2005)
- [18] “Advanced Instrumentation and maintenance technologies for nuclear power plants,” U. S. Nuclear Regulatory Commission, NUREG/CR-5501 (August 1998)
- [19] Extending the calibration interval of pressure transmitters in nuclear power plants,” 13th Annual joint ISA POWID/EPRI controls and instrumentation conference, Williamsburg, Virginia (June 15-19, 2003)
- [20] Hashemian, H. M., “Maintenance of process instrumentation in nuclear power plants”, Springer-Verlag GmbH, Heidelberg, Germany (2007)
- [21] EPRI Topical Report, “On-line monitoring of instrument channel performance,” TF-104965—R1 NRC SER, Electric Power Research Institute, Final Report (September 2000)

中 华 人 民 共 和 国
国 家 标 准
核电厂安全重要仪表和控制系统
老化管理要求
GB/T 29308—2012

*

中国标准出版社出版发行
北京市朝阳区和平里西街甲2号(100013)
北京市西城区三里河北街16号(100045)

网址 www.spc.net.cn

总编室:(010)64275323 发行中心:(010)51780235

读者服务部:(010)68523946

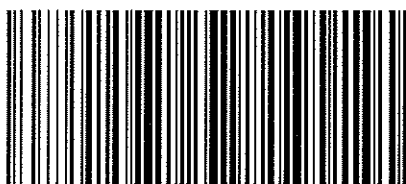
中国标准出版社秦皇岛印刷厂印刷
各地新华书店经销

*

开本 880×1230 1/16 印张 2.25 字数 58 千字
2013年4月第一版 2013年4月第一次印刷

*

书号: 155066·1-46729 定价 33.00 元



GB/T 29308-2012

如有印装差错 由本社发行中心调换
版权专有 侵权必究
举报电话:(010)68510107