
附件一：

核安全导则 HAD 103/12-2012

核动力厂老化管理

国家核安全局 2012 年 5 月 23 日批准发布

国家核安全局

核动力厂老化管理

(2012年5月23日国家核安全局批准发布)

本导则自2012年5月23日起实施

本导则由国家核安全局负责解释

本导则是指导性文件。在实际工作中可以采用不同于本导则的方法和方案，但必须证明所采用的方法和方案至少具有与本导则相同的安全水平。

本导则的附录为参考性文件。

目 录

1	引言.....	1
1.1	概述.....	1
1.2	目的.....	1
1.3	范围.....	1
2	基本概念.....	1
2.1	概述.....	1
2.2	老化管理的基本概念.....	2
2.3	过时管理的基本概念.....	4
2.4	老化管理在延寿运行的应用.....	4
3	主动的老化管理策略.....	5
3.1	概述.....	5
3.2	设计.....	6
3.3	制造和建造.....	7
3.4	调试.....	8
3.5	运行.....	8
3.6	退役.....	10
4	运行期间的老化管理.....	10
4.1	概述.....	10
4.2	组织机构设置.....	10
4.3	数据收集和记录保存.....	12
4.4	构筑物、系统和部件的筛选.....	13
4.5	老化管理审查.....	14
4.6	老化管理审查报告.....	17
4.7	状态评估.....	17
4.8	老化管理大纲的编制.....	17
4.9	老化管理大纲的实施.....	18
4.10	老化管理大纲的改进.....	20
5	过时管理.....	20

6	延寿运行的老化管理审查.....	21
7	与其他技术领域的接口.....	21
7.1	概述.....	21
7.2	设备鉴定.....	22
7.3	定期安全审查.....	22
附录 A	老化管理数据收集和记录保存系统内容示例.....	24
附录 B	主要的老化劣化机理以及敏感材料和部件的示例.....	25

1 引言

1.1 概述

1.1.1 《核动力厂设计安全规定》(HAF102)和《核动力厂运行安全规定》(HAF103)为核动力厂开展老化管理确定了原则和目标,本导则是对这两个规定有关条款的说明和补充。

1.1.2 核动力厂老化管理用于确保整个运行寿期内核动力厂所需安全功能的可用性,并考虑其随时间和使用过程的变化。这要求既要考虑构筑物、系统和部件实物老化引起的性能劣化,也要考虑构筑物、系统和部件的过时(相比当前知识、法规和标准、技术)带来的影响。

1.1.3 构筑物、系统和部件老化的有效管理是核动力厂安全、可靠运行的一个重要因素。核动力厂寿期内的设计、建造、调试、运行(包括延寿运行和长期停堆)和退役各阶段都应考虑老化管理。

1.1.4 本导则提供了核动力厂开展老化管理的方法,并确定了核动力厂进行有效老化管理的要素。

1.2 目的

1.2.1 本导则的目的是对核动力厂安全重要构筑物、系统和部件的老化管理提供指导和建议,包括对开展有效老化管理的要素提出建议。

1.2.2 本导则可供营运单位用于制定、实施和改进核动力厂老化管理大纲。

1.3 范围

1.3.1 本导则适用于核动力厂安全重要构筑物、系统和部件老化管理大纲的制定、实施和改进。

1.3.2 本导则主要叙述了安全重要构筑物、系统和部件的实物老化管理和过时管理,也为老化管理在延寿运行方面的应用提出了建议。

2 基本概念

2.1 概述

2.1.1 核动力厂经历着两种与时间相关的变化,包括:

- (1) 构筑物、系统和部件的实物老化，这种老化可能会引起物理性能的逐渐劣化；
- (2) 构筑物、系统和部件的过时，即构筑物、系统和部件相比当前知识、标准和
技术变得过时。

2.1.2 应持续评估实物老化和过时对核动力厂安全的累积效应，并通过定期安全审查或等效的、系统的安全再评价予以评估。

2.2 老化管理的基本概念

2.2.1 为维持核动力厂的安全性，应探测构筑物、系统和部件的老化效应，确定与老化有关的安全裕度的降低，并在核动力厂完整性或功能丧失之前采取纠正行动。

2.2.2 构筑物、系统和部件的实物老化(本导则中被称作“老化”)会增加共因故障的概率，实体屏障和多重部件性能的同时劣化可能会导致纵深防御系统中的一个或多个防护层次的损害。因此，在实施老化管理的构筑物、系统和部件筛选中，不考虑构筑物、系统和部件的多重性和多样性。

2.2.3 有效的老化管理应协调已有的各个大纲，包括维修、在役检查、监督，以及运行、技术支持大纲（包括分析所有老化机理），也包括外部单位相关的大纲（如研究和开发大纲）等。

2.2.4 在构筑物、系统和部件整个使用寿命期内进行有效的老化管理，要求采用系统化的老化管理方法协调所有相关的大纲和活动，包括认知、控制、监测以及缓解核动力厂部件或构筑物的老化效应。该方法的一般流程如图 1 所示，这是戴明循环“计划-实施-检查-行动”在构筑物、系统和部件老化管理中的应用。

2.2.5 如图 1 所示，对构筑物或部件老化的认知是开展有效老化管理的关键。老化的认知应基于以下知识：

- (1) 设计基准（包括适用的规范和标准）；
- (2) 安全功能；
- (3) 设计和制造（包括材料、材料性能、具体服役条件、制造中的检查、检验和试验）；
- (4) 设备鉴定（适用时）；
- (5) 运行和维修历史（包括调试、修理、修改和监督）；
- (6) 核动力厂通用运行经验和具体核动力厂特有运行经验；
- (7) 相关的研究结果；
- (8) 在状态监测、检查和维修中收集的数据以及这些数据的趋势。

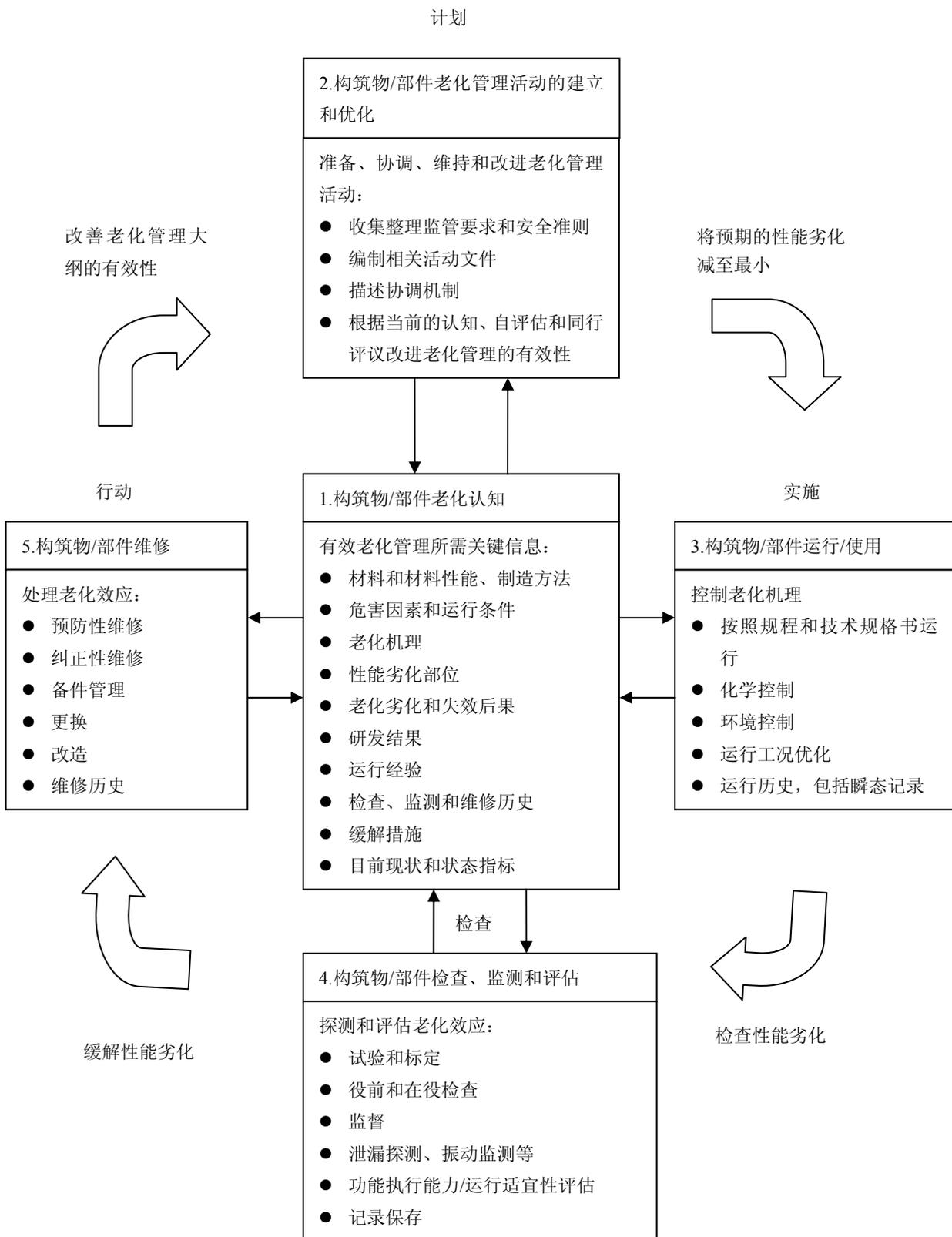


图 1 系统的老化管理方法

2.2.6 图 1 中的“计划”活动是指整合、协调以及修改和构筑物或部件老化管理有关的现有大纲和活动，并在需要时建立新的大纲。

2.2.7 图 1 中的“实施”活动是指通过严格按照运行规程和技术规格书运行/使用构筑物或部件，从而使其预期的性能劣化减至最小。

2.2.8 图 1 中的“检查”活动的目的是通过对构筑物或部件的检查和监测，及时探测和表征其显著的性能劣化，并对所观测到的性能劣化做出评估，以便确定所需纠正行动的类型和时机。

2.2.9 图 1 中的“行动”活动是指通过适当的维修和设计修改，包括构筑物或部件的修理和更换，及时缓解和纠正部件的性能劣化。

2.2.10 图 1 的闭环表明，基于相关的运行经验反馈、研发成果以及老化管理自我评估和同行评议的结果，就可以对特定构筑物或部件的老化管理大纲进行持续的改进，以确保解决出现的老化问题。

2.2.11 如图 1 所示，对老化劣化的研究和管理是基于构筑物或部件层次的。根据安全分析的需要，单个构筑物和/或部件的老化管理大纲也可整合成系统层次的老化管理大纲。

2.3 过时管理的基本概念

2.3.1 如果构筑物、系统和部件的过时没有提前得到确认，也没有采取纠正行动，构筑物、系统和部件的可靠性或可用性就可能降低，核动力厂的安全就可能受到影响。

2.3.2 核动力厂构筑物、系统和部件过时的主要类型如表 1 所示。

2.3.3 过时管理是提高核动力厂安全水平综合管理方法的一部分，它通过适时改进构筑物、系统和部件的性能及安全管理来实现。

2.4 老化管理在延寿运行的应用

延寿运行是指在充分考虑构筑物、系统和部件的特点以及使用寿命期限的基础上，并经安全评估论证，核动力厂在超过设计规定时间期限的运行。如果营运单位申请核动力厂延寿运行，就应通过包括老化管理审查在内的定期安全审查对核动力厂的安全性进行论证，并接受国家核安全监管部门的监管。

表 1 过时的类型

过时领域	表现	后果	管理
知识	法规、标准及技术（有关构筑物、系统和部件）方面的知识没有更新。	错过了核动力厂安全水平提高的机会； 降低了延寿运行的能力。	持续更新知识，并改进知识的应用。
法规和标准	硬件和软件偏离现行法规和标准； 设计存在薄弱环节（如在设备鉴定、隔离、多样性、严重事故管理能力方面）。	核动力厂安全水平低于现行法规和标准要求（例如纵深防御存在薄弱环节或堆芯损坏频率高）； 降低了延寿运行的能力。	依据现行标准进行系统的再评估（如定期安全审查），并进行适当的改造、修改或升级。
技术	备件和/或技术支持缺乏； 供应商和/或工业界能力不足。	失效率增加和可靠性降低使得核动力厂性能和安全性降低； 降低了延寿运行的能力。	系统地确定构筑物、系统和部件剩余寿命以及可能的过时； 根据预期的使用寿命准备备件，并及时更换零部件； 与供应商签订长期协议； 开发等效的构筑物或部件。

3 主动的老化管理策略

3.1 概述

3.1.1 应对核动力厂安全重要构筑物、系统和部件开展主动的（有预见性和有针对性的）老化管理，老化管理应贯穿核动力厂的整个寿期，包括设计、制造、建造、调试、运行（包括延寿运行和长期停堆）和退役等各个阶段。

3.1.2 核动力厂营运单位应证明在核动力厂整个寿期内，对核动力厂有影响的相关老化问题已得到明确识别，并在安全分析报告中得到体现。营运单位

在评价供应商（包括经销商、制造商、设计单位）建议的老化管理措施时，应考虑其他核动力厂出现的老化问题。

3.1.3 供应商和核动力厂营运单位在核动力厂整个寿期内的老化管理活动应接受国家核安全监管部门的监管。

3.2 设计

3.2.1 核动力厂营运单位应向国家核安全监管部門证明，在核动力厂设计阶段就已充分考虑核动力厂整个寿期内需关注的老化问题。营运单位应说明其在核动力厂寿期内各个阶段实施有效的老化管理大纲的措施。

3.2.2 在新设施或新构筑物、系统和部件的设计和采购文件中，核动力厂营运单位应明确规定开展老化管理的要求，包括供应商和其他承包商应提供的资料。

3.2.3 在设计阶段就应采取适当的措施或采用某种设计特点，以便于在核动力厂整个寿期内开展有效的老化管理。这些措施还应应用到设备或部件的修改或更换设计中。《核动力厂设计安全规定》（HAF102）第 5.6 节中对安全重要构筑物、系统和部件老化管理的要求为：“设计中必须为所有安全重要构筑物、系统和部件提供适当的裕度，以便考虑到有关的老化和磨损机理以及与服役期有关的可能的性能劣化，从而保证这些构筑物、系统或部件在其整个设计寿期内能够执行所必需的安全功能的能力。必须考虑到在所有正常运行工况、试验、维修、维修停役、以及在假设始发事件中和其后的核动力厂状态下的老化和磨损效应。必须采取监测、试验、取样和检查措施，以便评价设计阶段预计的老化机理和鉴别在使用中可能发生的预计不到的情况或性能劣化”。

3.2.4 设计中针对老化管理应：

- (1) 在设备鉴定大纲中考虑设计基准工况，包括假设始发事件工况；
- (2) 确定、评价并考虑非能动和能动构筑物、系统和部件可能的老化机理；在构筑物、系统和部件设计寿期内可能影响其安全功能的老化机理包括热老化、辐照脆化、疲劳、腐蚀、应力腐蚀开裂、蠕变以及磨损；
- (3) 评价并考虑相关的经验（包括核动力厂建造、调试、运行和退役阶段的经验）和研究成果；
- (4) 考虑采用具有更强抗老化性能的先进材料；
- (5) 考虑是否需要材料试验大纲，以监测材料的老化劣化；

(6) 考虑是否需要在线监测来提供预警信息，尤其是在劣化将导致构筑物、系统和部件失效或失效将造成严重安全后果的部位；

(7) 在核动力厂布置和构筑物、系统和部件设计中考虑便于检查、维修，以及检查、试验、监测、维护、修理和更换等工作的可达性，并且使开展这些活动所受职业照射减至最少。

3.2.5 老化管理应是核动力厂总设计要求之一。老化管理应包括以下几个方面：

(1) 老化管理的策略及其执行的先决条件；

(2) 核动力厂可能受到老化影响的所有安全重要构筑物、系统和部件；

(3) 当发现在核动力厂寿期内可能会出现影响部件、设备和系统执行其安全功能的老化或者其他形式性能劣化时，应提供适当的材料监测和取样大纲；

(4) 适当考虑对老化相关运行经验反馈进行分析；

(5) 对不同类型安全重要构筑物、系统和部件（混凝土构筑物、机械部件和设备、仪表、控制和电气设备及电缆等）的老化管理以及监测其性能劣化的措施；

(6) 安全重要构筑物、系统和部件设备鉴定的设计输入，包括正常运行工况和假设始发事件下需要鉴定的设备及设备功能；

(7) 说明维持构筑物、系统和部件所处环境在规定的服役条件内的总原则（通风位置、高温构筑物、系统和部件的隔热、辐射屏蔽、减震、防淹、电缆走向的选择、对稳定电压设施的要求等）。

3.3 制造和建造

3.3.1 核动力厂营运单位应确保供应商已充分考虑了影响老化管理的因素，并向营运单位提供了足够的信息和数据。

3.3.2 核动力厂营运单位应确保：

(1) 将影响老化管理的因素的相关信息提供给构筑物、系统和部件制造商，以使得这些影响因素在构筑物、系统和部件的制造和建造过程中得到适当考虑；

(2) 当前关于老化机理、老化效应、性能劣化以及可能的缓解措施等方面的知识在构筑物、系统和部件的制造和建造过程中已得到考虑；

(3) 对基准数据进行收集并形成文件；

(4) 按设计说明书要求获得并安放特定的老化监测大纲所需的监督试样。

3.4 调试

3.4.1 核动力厂营运单位应建立一个系统的大纲，以测量和记录安全重要构筑物、系统和部件老化管理相关的基准数据，包括核动力厂每个关键部位的实际环境条件的分布情况，以确保与设计的一致性。

3.4.2 应重点关注温度和辐射剂量率热点的识别，以及振动水平的测量。所有可能影响老化劣化的参数都应尽早识别，如果可能，应在调试阶段进行控制并在整个核动力厂寿期内进行跟踪。

3.4.3 核动力厂营运单位应确保收集了所需的基准数据，并确认关键服役条件(如设备鉴定时所使用的)与设计分析一致。

3.5 运行

3.5.1 核动力厂运行过程中应实施一套系统的老化管理方法(见 2.2.4 节)，该套老化管理方法将帮助营运单位为选择的每一个构筑物、部件或构筑物和部件的组合制定适当的老化管理大纲。

3.5.2 应考虑下述老化管理大纲的成功经验和影响因素：

(1) 核动力厂营运单位管理层应对系统的老化管理大纲提供支持和资源；

(2) 尽早实施系统化的老化管理大纲；

(3) 应在充分认知和准确预测构筑物或部件老化的基础上采取主动的老化管理方法，而不是在构筑物、系统和部件失效后再被动弥补；

(4) 严格按相关规定使用构筑物、系统和部件，以减缓老化劣化速率；

(5) 对相关工作人员进行充分培训和严格考核；

(6) 使所有相关运行、维修和工程设计人员都了解老化管理的基本概念；

(7) 员工的积极性、所接受的培训和主人翁意识；

(8) 对于给定的工作，应拥有并使用正确的书面程序、工具和材料，以及足够的合格员工；

(9) 对老化敏感的备件和耗材应合理储存，以使储存过程中的性能劣化减至最小，并适当地控制其储存期限；

- (10) 采取多专业、多部门参与的团队来处理复杂的老化管理问题；
- (11) 有效的内部交流（包括上下级沟通和同事间交流），以及外部交流；
- (12) 运行经验反馈（通用的以及特定核动力厂，包括非核工厂的运行经验），以从相关的老化事件中获得经验和教训；
- (13) 使用构筑物、系统和部件可靠性和维修历史数据库；
- (14) 采用有效、合格的无损检测和老化监测方法以便及早发现因设备的高强度使用而可能产生的缺陷。

3.5.3 核动力厂营运单位应识别并考虑下述主要的老化管理潜在弱点：

- (1) 在核动力厂设计和建造过程中对老化的认知和预测不够充分（这是很多核动力厂构筑物或部件发生重大老化劣化事件的根本原因）；
- (2) 核动力厂构筑物或部件提前老化（老化劣化比预期早），可能的原因包括其役前和实际服役条件不同于设计或者比设计条件更加恶劣，以及由于设计、制造、安装、调试、运行或维修阶段的错误或疏忽，上述各阶段工作之间缺乏协调和未预见到的老化现象等；
- (3) 不恰当地将被动的老化管理（即修理和更换劣化部件）作为构筑物或部件主要的老化管理方式；
- (4) 忽视相关的工业运行经验和研究成果；
- (5) 核动力厂构筑物或部件承受由外部事件（如地震）造成的未预料到的应力载荷。

3.5.4 在反应堆提升额定功率、进行重大修改或设备更换时，核动力厂营运单位应确定并论证可能的与之相关的工艺条件改变（如流量分布、流速、振动等），这些改变可能会造成某些部件的加速或过早老化和失效。

3.5.5 如果发现新的老化机理（如通过运行经验反馈或研究），核动力厂营运单位应进行适当的老化管理审查。

3.5.6 对于核动力厂安全运行至关重要的主要构筑物、系统和部件，核动力厂营运单位应准备紧急对策或额外维修计划，以便应对由潜在老化机理和效应引起的潜在性能劣化或失效。

3.5.7 对备件或更换部件的可用性，以及备件或耗材的储存期限应进行连续监控。

3.5.8 如果核动力厂备件或耗材会因储存环境（如高温或低温、湿度、化学侵蚀、积尘等）而变得易于老化劣化，则应采取措施确保使其保存在适当的

受控环境中。

3.6 退役

应制定适当的方案以确保所需的设备和构筑物、系统和部件（如安全壳系统、冷却设备、升降设备和状态监测设备等）保持其功能和可用性，以满足核动力厂退役活动的需要。

4 运行期间的老化管理

4.1 概述

本节针对核动力厂运行期间开展系统老化管理的方法提出指导和建议，该方法包括以下要素：

- (1) 组织机构设置；
- (2) 数据收集和记录保存；
- (3) 实施老化管理的构筑物、系统和部件筛选；
- (4) 老化管理审查；
- (5) 状态评估；
- (6) 老化管理大纲的编制；
- (7) 老化管理大纲的实施；
- (8) 老化管理大纲的改进。

以下对上述要素分别予以说明。对于不同于本导则的其他老化管理方法，如果能证明其对老化劣化管理是有效的，也是可接受的。

4.2 组织机构设置

4.2.1 由于老化管理的复杂性，因此需要核动力厂营运单位和外部单位（如技术支持单位、营运者组织以及研发、设计和制造单位）的参与和支持。在老化管理大纲得以实施前，营运单位的高级管理层应确定老化管理大纲的政策和目标，并分配所需的资源（人员、资金、工具和设备，以及外部资源）。

4.2.2 一种典型的老化管理组织机构设置如图 2 所示，包括各参与的单位 and 部门，以及他们的职责和接口。

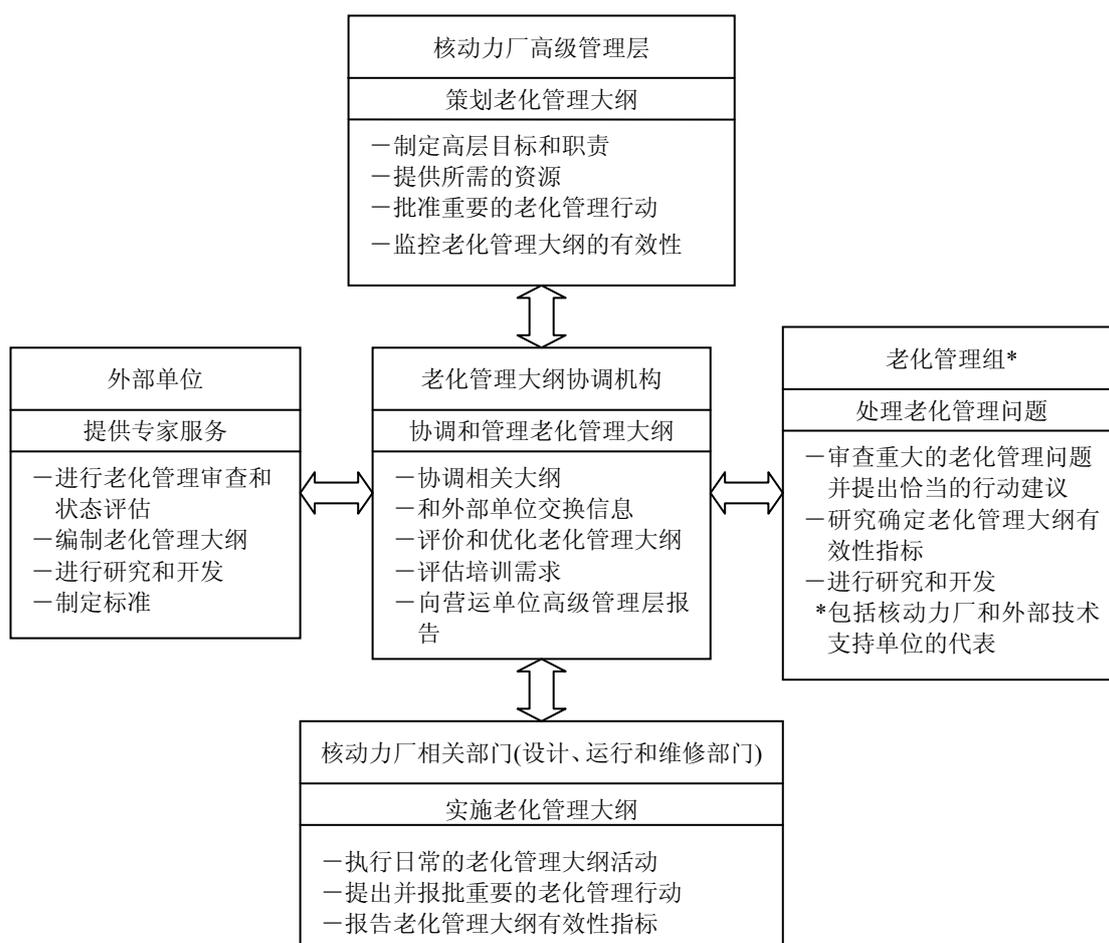


图 2 老化管理组织结构

4.2.3 如图 2 所示，高级管理层应指定一个老化管理大纲的协调机构。该协调机构可以是营运单位的某一部门，如运行部门、维修部门、工程设计部门或者质保部门；也可以是根据任务需要由营运单位不同部门人员联合组成，必要时可包含外部专家；也可以建立一个专门从事老化管理大纲协调工作的部门。

4.2.4 协调机构的职责应包括：

- (1) 相关大纲的协调；
- (2) 对相关运行经验和研发成果进行系统的监控，并评价这些经验和成果能否应用于本核动力厂；
- (3) 指导跨学科老化管理组（包括常设的或专项的）处理复杂的老化问题；
- (4) 审查和优化老化管理大纲；
- (5) 与外部技术支持单位进行协调；

- (6) 确定进一步的培训需要；
- (7) 开展定期的老化管理自我评估；
- (8) 老化管理大纲相关活动的改进。

4.2.5 解决复杂的老化问题可能需要多个专业学科的合作。根据老化评估的要求，老化管理组的参与人员（见图 2）应包括来自运行、维修、工程、设备鉴定、设计以及研发等部门的专家。除老化管理组外，可能还需要外部组织就具体课题提供专家服务，如状态评估、研究、标准制定等。

4.2.6 核动力厂营运单位的不同部门（如运行部门、维修部门和工程设计部门）应负责实施核动力厂具体构筑物或部件的老化管理大纲，并负责报告构筑物或部件的性能。这些单个具体构筑物和部件的老化管理大纲既相互关联，又是核动力厂总体老化管理大纲的组成部分。

4.2.7 营运单位应为运行、维修和工程设计部门的相关员工提供构筑物、系统和部件老化方面的培训，以使他们能充分了解老化管理，并有效推动老化管理工作的开展。

4.2.8 营运单位应收集并评价相关核动力厂和其他工业的经验，并使之能应用于老化管理大纲的改进。

4.3 数据收集和记录保存

4.3.1 营运单位应根据老化管理大纲建立相应的数据收集和记录保存系统，以促进老化管理大纲的实施和优化。

4.3.2 该数据收集和记录保存系统应在核动力厂寿期初建立（理想状况下数据应从建造初期开始收集），以便为下列活动提供数据信息：

- (1) 鉴别和评价由老化效应引起的部件性能劣化、失效和故障；
- (2) 确定维修活动(包括设备的标定、修理、整修和更换等)的类型和时机；
- (3) 优化运行条件和操作，以减轻设备的老化劣化；
- (4) 及时识别新的老化效应，避免危及核动力厂的安全，降低核动力厂的运行可靠性和运行寿期。

4.3.3 为了便于从核动力厂的运行、维修和工程设计工作中获得充足、可靠的老化相关数据，记录保存系统设计时应向核动力厂运行、维修和设计等相关部门进行咨询。

4.3.4 数据收集和记录保存系统的数据示例见附录 A。

4.4 构筑物、系统和部件的筛选

4.4.1 一个核动力厂有数目庞大且种类繁杂的构筑物、系统和部件，各构筑物、系统和部件对老化劣化的敏感程度也各不相同，因此没有必要也不可能对所有的构筑物、系统和部件的老化劣化程度进行定性和定量分析。而应采用系统化的方法集中资源重点关注那些对核动力厂安全运行有不利影响且对老化劣化敏感的构筑物、系统和部件，同时还应关注那些虽然本身不具有安全功能，但其失效会妨碍其他构筑物、系统和部件执行安全功能的构筑物、系统和部件。

4.4.2 实施老化管理的构筑物、系统和部件的筛选应以核动力厂的安全为基础，其基本步骤如下：

(1) 根据部件发生故障或失效是否会直接或间接导致安全功能的丧失或受到损害，从所有系统和构筑物清单中鉴别出安全重要的构筑物、系统和部件。

(2) 对每一个安全重要系统和构筑物，根据系统部件和构筑物构件的失效是否会直接或间接导致安全功能的丧失或损失，进一步确定安全重要的系统部件和构筑物构件；

(3) 应从安全重要构筑物构件和系统部件清单中，确定其老化劣化可能会引起部件失效的部分；

(4) 为保障老化管理审查资源的效率，应将筛选出的、对老化劣化敏感的安全重要构筑物构件和系统部件，根据设备类型、材质、服役条件及劣化状况等因素进行分组。如可将服役条件(如温度、压力和水化学)相似的同类部件(阀门、泵和小尺寸管道)分成一组。

4.4.3 构筑物、系统和部件筛选的流程如图 3 所示。具体采用的筛选方法应形成文件并通过审查。

4.4.4 应根据对安全的重要性，考虑采用基于风险的方法(概率安全分析和确定论方法)对所选择的部件进行老化管理的分级和排序。如失效将对堆芯损坏频率具有重要影响的构筑物和部件应具有高的优先等级。采用概率安全评价时，如果多重构筑物或部件经受相同的老化劣化，则应考虑共因失效的可能性。

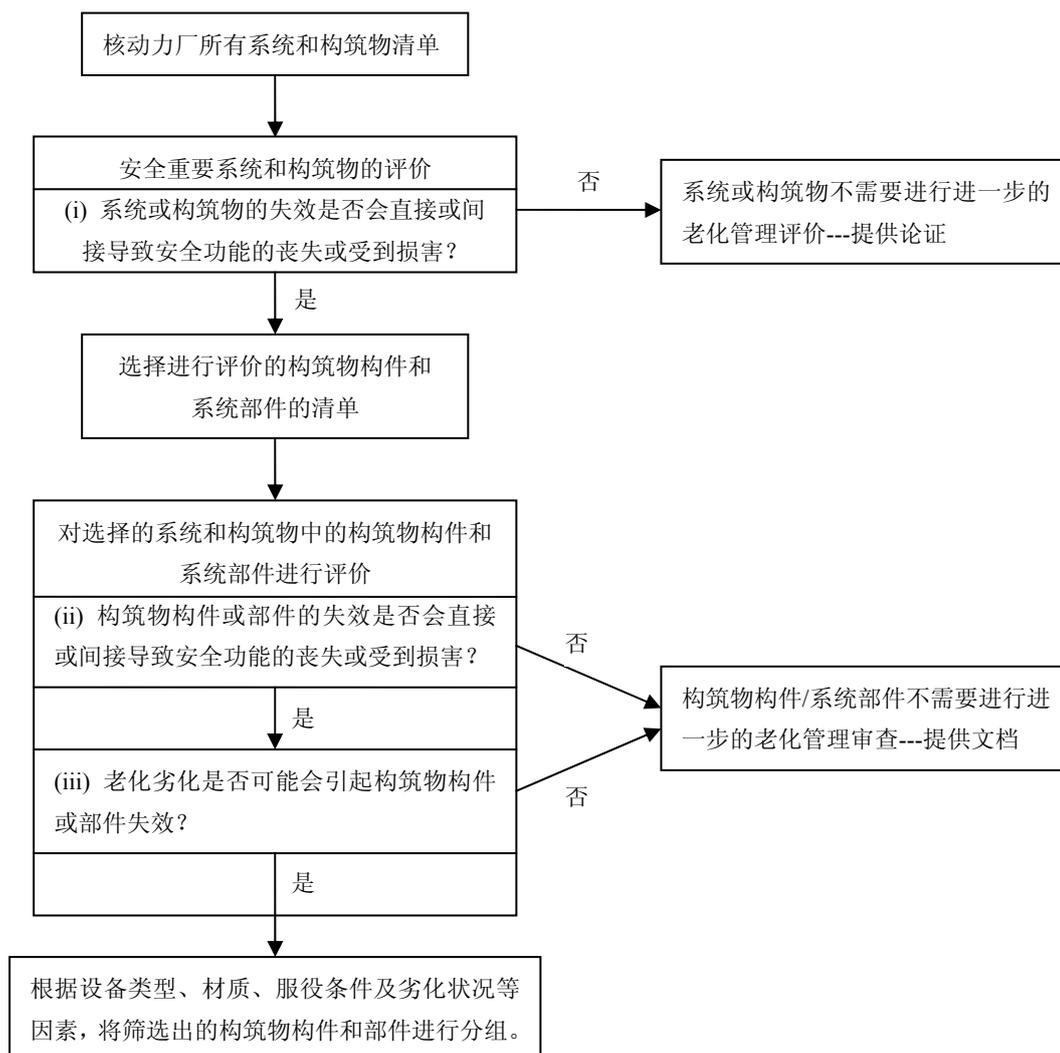


图 3 实施老化管理的构筑物、系统和部件筛选流程图

4.5 老化管理审查

4.5.1 对筛选出的所有构筑物和部件以及构筑物和部件的组合都应进行老化管理审查，以获得以下三个方面的信息和知识：

- (1) 老化的认知；
- (2) 老化的监测；
- (3) 老化效应的缓解。

4.5.2 如果可能，应充分利用目前已有的老化管理相关审查结果（由营运者组织、供应商或技术支持单位完成），以避免重复工作。

4.5.3 图 4 为老化管理审查(包括相关信息和结果文件的审查和评价)流程图。对于某些构筑物或部件，如果相应的老化机理及其影响因素都已得到充分

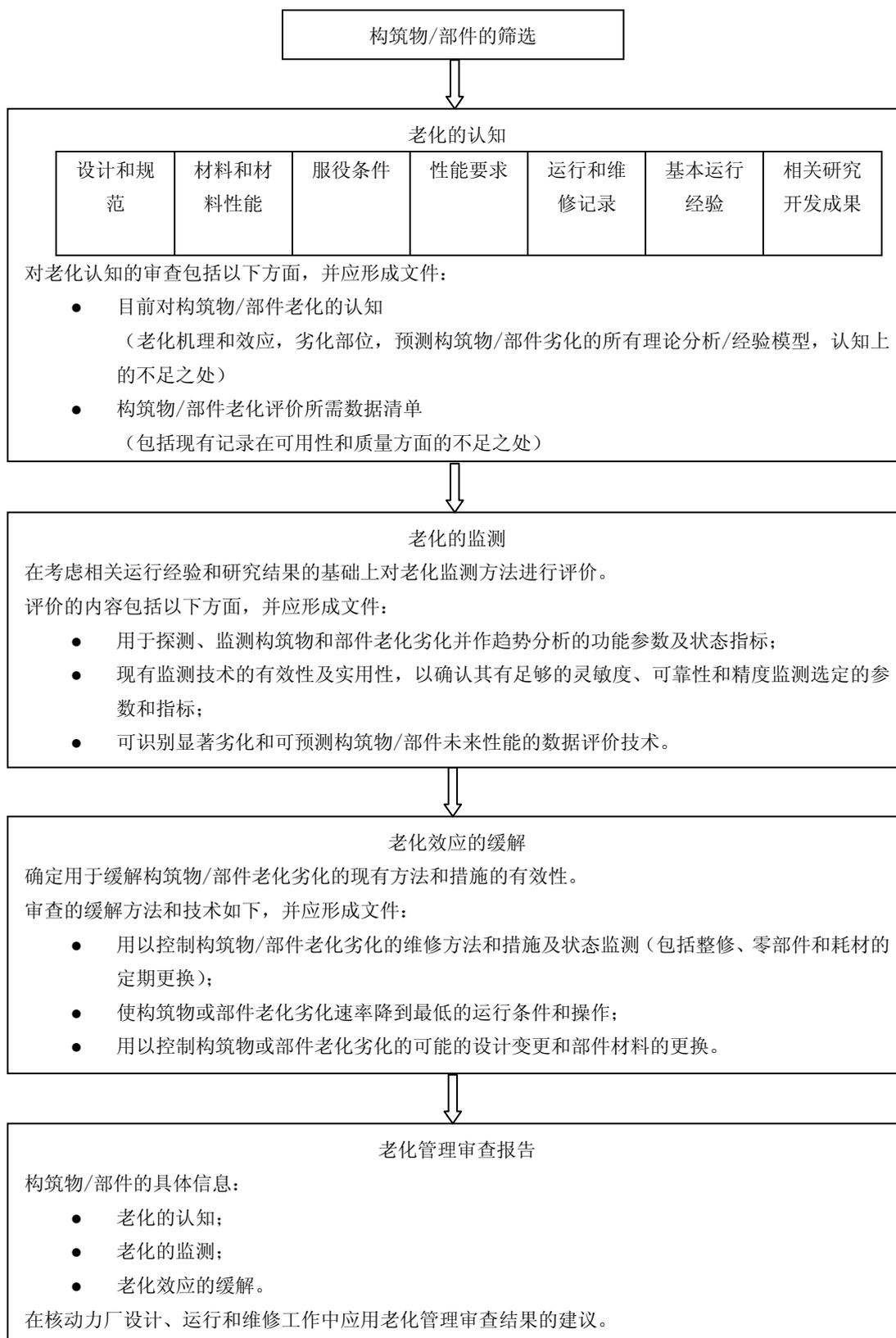


图 4 老化管理审查流程图

认识，并且已经建立并实施了一个有效的老化管理大纲，也可以不进行老化管理审查。

4.5.4 老化认知

4.5.4.1 对老化的认知是有效监测和缓解老化效应的基础。为认知某个构筑物或部件的老化劣化，应识别并了解相应的老化机理和老化效应。构筑物或部件的在役检查及试验（包括破坏性试验）能充分增进对老化机理的认识。附录 B 提供了主要的老化劣化机理及敏感部件和材料的例子。

4.5.4.2 对构筑物和部件老化认知的审查应涵盖材料、危害因素、环境、关注的老化机理、老化部位，还包括可用于预测劣化趋势的理论分析模型和经验模型。老化认知审查结果应形成文件。

4.5.5 老化监测

4.5.5.1 应在考虑相关运行经验和研究成果的基础上对现有老化监测方法进行评价，以确定这些方法能在构筑物和部件失效前及时、有效的探测出老化劣化。适用时，设备抽样检查方法应用于老化劣化征兆探测。

4.5.5.2 为确认其有效性、实用性而对现有监测方法和技术进行的评价应涵盖以下方面：

（1）用于探测、监测构筑物和部件老化并作趋势分析的功能参数及状态指标；

（2）现有监测技术的有效性及其实用性，以确认其有足够的灵敏度、可靠性和精度监测选定的参数和指标；

（3）用于确认诸如显著劣化、失效率及其趋势和预测构筑物或部件未来的完整性和功能能力的技术评价技术。

4.5.5.3 老化监测审查结果应形成文件。

4.5.6 老化效应的缓解

4.5.6.1 应在考虑相关运行经验和研究成果的基础上确定现有构筑物或部件老化劣化缓解方法和措施的有效性。

4.5.6.2 应审查以下老化缓解方法和技术以确认其有效性和实用性：

（1）用以控制构筑物或部件老化劣化的维修方法和措施（包括整修及零部件和耗材的定期更换、预防性维修周期调整等）；

（2）使构筑物或部件老化劣化速率降到最低的运行条件、操作和试验；

（3）用以控制构筑物或部件老化劣化的可能的设计变更和部件材料的更

换。

4.5.6.3 老化效应缓解审查结果应形成文件。

4.6 老化管理审查报告

4.6.1 老化管理审查的结果应以报告形式形成文件。报告应涵盖老化认知、老化监测和老化效应的缓解。此外，还应就老化管理审查结果在核动力厂运行、维修和设计等工作中的应用提出建议。

4.6.2 实施老化管理审查的方法应形成文件并通过审查。

4.7 状态评估

4.7.1 为了保证老化管理计划的有效性，对筛选后选择的构筑物或部件，或构筑物和部件的组合都应以老化管理审查结果为基础评价其实际状态。

4.7.2 构筑物或部件实际状态的评估应基于以下方面：

- (1) 老化管理审查的相关报告；
- (2) 构筑物或部件的运行、维修和工程设计数据，包括相应的验收准则；
- (3) 检查和状态评估结果，如有必要且可行，还应包括更新后的检查和状态评估数据。

4.7.3 状态评估结果应以报告形式形成文件，并提供以下信息：

- (1) 构筑物或部件当前的性能和状态，包括对任何老化相关失效或材料性能显著劣化迹象的评估；
- (2) 如果可行，应对构筑物或部件的未来性能、老化劣化和使用寿命做出预测。

4.8 老化管理大纲的编制

4.8.1 对筛选后选择的每一个构筑物、部件或构筑物和部件的组合都应编制具体的老化管理大纲。老化管理大纲应确定：

- (1) 有效和适当的老化管理行动和实践，以便能及时探测并缓解构筑物或部件的老化效应；
- (2) 老化管理大纲的有效性指标。

为此，应进行适当的老化评价和状态评估以确定当前实践的有效性，适当时，还应对当前实践的改进提出建议。

4.8.2 为评价老化管理大纲的有效性，营运单位应建立并使用相应的评价指标，如：

- (1) 与验收准则相比的材料状态；
- (2) 失效和性能劣化相关数据的变化趋势；
- (3) 预防性维修和纠正性维修的对比（如人力和费用）；
- (4) 失效和性能劣化重复发生的次数；
- (5) 与检查大纲的符合性。

4.8.3 核动力厂如果考虑使用现有的老化管理大纲，则应按表 2 所述的内容对现有的大纲进行评价，如果与这些内容不符，则应进行相应的修改。

4.8.4 编制老化管理大纲时可能需要考虑工程设计评价。工程设计评价中应考虑适用的设计基准和监管要求，以及材料特性、服役条件、危害因素、劣化部位及构筑物或部件的老化机理和效应等方面的信息；还需考虑适当的指标以及有关老化的定性或定量分析模型。所有老化管理大纲都应具有表 2 中所列的基本内容。

4.8.5 应为每一个老化管理大纲确定一个汇总表。汇总表应提供一个老化管理大纲的实施总结，并突出那些有利于认知和管理老化的信息，包括材料特性、劣化部位、老化危害因素和环境、老化机理和效应、检查和监测要求及方法、缓解措施、监管要求以及验收准则等。

4.9 老化管理大纲的实施

4.9.1 营运单位负责实施老化管理大纲。

4.9.2 营运单位高级管理层负责批准重要老化管理行动的实施，并负责解决潜在的问题。

4.9.3 老化管理大纲实施时，应定期报告构筑物和部件的性能及老化管理大纲有效性评价指标的状况。

4.9.4 作为老化管理大纲实施的一部分，应收集、记录老化管理的相关数据，以确定老化管理行动的类型和时机。

4.9.5 在设备寿期内，应根据对老化机理认知的最新进展及时对设备的鉴定寿命进行重新评估。在需要延长设备鉴定寿命时，营运单位应负责提供详细的安全论证。

表 2 有效的老化管理大纲的基本内容

基本内容	具体描述
1. 基于老化认知的老化管理大纲的范围	<ul style="list-style-type: none"> • 需要进行老化管理的构筑物（包括构筑物构件）和部件； • 老化现象（主要的老化机理、敏感部位）的认知： <ul style="list-style-type: none"> – 构筑物/部件的材料、服役条件、危害因素、劣化部位、老化机理及老化效应； – 构筑物/部件状态指标及验收准则； – 老化现象相关的定量或定性预测模型。
2. 缓解和控制老化劣化的预防性措施	<ul style="list-style-type: none"> • 预防性行动的确立； • 监测或检查参数的确定； • 需要维持的服役条件（即环境和运行条件），以及用于减缓构筑物或部件潜在劣化的操作方法。
3. 老化效应的探测	<ul style="list-style-type: none"> • 在构筑物或部件失效前及时探测出老化效应的有效技术（检查、试验和监测方法）。
4. 老化效应的监测和劣化趋势预测	<ul style="list-style-type: none"> • 监测的状态指标和参数； • 收集有助于构筑物或部件老化评估的数据； • 评估方法（包括数据分析和趋势预测）。
5. 老化效应的缓解	<ul style="list-style-type: none"> • 能缓解构筑物或部件探测出的老化效应和/或劣化的运行、维护、修理和更换活动。
6. 验收准则	<ul style="list-style-type: none"> • 用于判断是否需要采取纠正行动的验收准则。
7. 纠正行动	<ul style="list-style-type: none"> • 当某一部件不满足验收准则时需采取的纠正行动。
8. 运行经验和研发结果反馈	<ul style="list-style-type: none"> • 确保及时对运行经验和研发结果进行反馈的机制（如果适用），并提供这些反馈已在老化管理大纲中得到充分考虑的客观证明。
9. 质量管理	<ul style="list-style-type: none"> • 对老化管理大纲实施及所采取行动的文档化管理； • 有助于对老化管理大纲进行评价和改进的指标； • 确保预防性行动充分、适当以及所有纠正行动已经完成且有效的确认（验证）过程； • 应遵循的记录保存方法。

4.10 老化管理大纲的改进

4.10.1 营运单位管理者应根据系统化的老化管理方法（见图 1）对老化管理大纲进行评估和改进。

4.10.2 应根据当前知识定期对老化管理大纲的有效性进行评估，并应在适当时进行修订和调整。当前相关知识包括构筑物或部件的运行信息、监督和维修历史、研发成果和通用的运行经验等。

4.10.3 应定期对老化管理大纲的有效性进行审查、检查和评价。营运单位应负责对核动力厂老化管理政策和老化管理大纲进行评价和改进。

4.10.4 应考虑开展老化管理大纲的同行评议，以确定老化管理大纲是否符合行业惯例，并发现有待改进的方面。

4.10.5 应准备充足的研发经费，以便能够及时处理新的老化问题，并不断改进对老化机理和老化成因的认知和预测以及相关监测、缓解方法或实践。应建立一个战略性方法来促进长期的研发计划。

5 过时管理

5.1 应在核动力厂整个运行寿期内对安全重要构筑物、系统和部件的过时进行具有预见性和远见性的主动管理。

5.2 营运单位在核动力厂整个寿期内的过时管理活动应接受国家核安全监管部门的监管。

5.3 营运单位建立的老化管理大纲应涵盖过时管理，包括制定过时管理的政策、目标，确定过时管理的组织机构，分配适当的资源（包括人员和资金），并且对过时管理的各个环节予以监督，以确保实现过时管理的目标。

5.4 建议采用如下组织机构设置实施过时管理：

- （1）参与过时管理的营运单位各部门应分工清晰、责任明确；
- （2）应由具备丰富工程设计、运行和维修经验的专家领导过时管理工作；
- （3）过时管理应由多部门协作实施，参与人员应包括工程设计、技术支持、维修和采购等方面的人员。

5.5 过时管理应重点关注技术的过时管理。此外，应对标准的过时管理提供指导并进行监控（如通过定期安全审查）。

5.6 应建立与老化管理大纲中过时管理内容相对应的程序，以开展下述工作：

- (1) 对过时进行系统的评价；
- (2) 处理所有已确定的过时问题；
- (3) 持续改进老化管理大纲中有关过时管理的内容。

5.7 应实施技术过时管理程序，以确保提供：

- (1) 构筑物、系统和部件维修和更换所需的完整而准确的支持性文件；
- (2) 所需的技术支持；
- (3) 足够的备品备件。

6 延寿运行的老化管理审查

6.1 为论证核动力厂能延寿运行，营运单位应证明核动力厂的安全符合现行安全标准。

6.2 深入的老化管理审查应确保对用于支持核动力厂延寿运行的老化管理大纲及其实施进行了审查，并证明这些大纲满足表 2 所示老化管理大纲有效性的内容。

6.3 审查过程应包括以下主要步骤：

- (1) 采用适当的筛选方法，以确保延寿运行所涉及的安全重要构筑物和部件都将进行评价；
- (2) 证明在预期的延寿运行期内每个构筑物和部件的老化效应都将得到持续的鉴别和管理；
- (3) 对按有限时间进行安全分析的问题进行再评价，以证明这些安全分析的持续有效性或者老化效应得到有效管理，即证明构筑物或部件预期的功能在整个预期延寿运行期内仍得到保持，并在设计的安全裕量内。

6.4 应确定并实施对核动力厂现有大纲的修改和新大纲的编制。

6.5 构筑物和部件延寿运行的老化管理审查结果应形成文件。

7 与其他技术领域的接口

7.1 概述

本章着重介绍与老化管理密切相关的两个技术领域，即设备鉴定和定期安全审查。核动力厂与老化管理相关的其他大纲与活动（如维修、检查、监测、监督、水化学和运行经验反馈等）已经在上述章节进行了说明。

7.2 设备鉴定

7.2.1 核动力厂设备鉴定大纲给出了一个对所涉安全重要部件进行有效老化管理的范例。设备鉴定大纲通常涵盖了所有执行安全功能的设备或者有助于执行安全功能的设备。

7.2.2 根据设备鉴定大纲，安全重要物项应证明在严酷环境下能够执行其安全功能。通常情况下，假设始发事件后的服役条件与正常运行工况存在显著差异。因此，很难根据设备的正常运行工况、预运行试验和定期监督试验结果确信设备能够在事故后工况下仍能执行其功能。

7.2.3 可以采用由设备鉴定确定的“鉴定寿命”或“鉴定状态”来对设备的老化进行管理。

7.2.4 应通过确保下述方面来证明老化问题已在核动力厂整个预期寿期内得到恰当考虑：

- (1) 根据国内外相关的知识和实践，鉴定试验考虑了潜在的老化效应；
- (2) 对现场环境状态进行监测，以探测任何与设计值的偏离；
- (3) 当发生偏离设计值时或者设备失效频率增加时，应提供修改鉴定寿命的程序；
- (4) 提供调整老化试验及其有效期的程序。

7.2.5 设备鉴定所确定的设备鉴定寿命是指如果发生假设始发事件，正常运行期限内的老化劣化不会影响设备执行其功能。在设备鉴定寿命结束前，应更换设备或更新到期的设备部件，或评估后延长设备的鉴定寿命。

7.2.6 设备鉴定所确定的鉴定状态可用一个或多个可测量的状态指标表示，并且已经证明在这些状态指标下，设备能够满足其性能要求。

7.3 定期安全审查

7.3.1 定期安全审查用来审查核动力厂在其运行寿期内的安全性，也是营运单位申请核动力厂延寿运行时需要进行的审查。根据《核动力厂运行安全规定》(HAF103)的要求，必须在核动力厂整个运行寿期内进行定期安全审查，以保证在考虑了核动力厂老化（包括实物老化和过时）和修改的积累效应以及安全标准的变化后，核动力厂许可证发放的依据仍持续有效。

7.3.2 定期安全审查时，营运单位应评价老化对核动力厂安全的影响、老化管理大纲的有效性以及老化管理大纲是否需要改进。

7.3.3 定期安全审查中老化管理审查的目的是确定：

(1) 是否对核动力厂的老化进行着有效的管理，从而保持所要求的安全功能；

(2) 核动力厂后续运行是否具备有效的老化管理大纲。

因此，对于定期安全审查中老化管理的审查，其目标是：

(1) 对每一个安全重要构筑物、系统和部件，所有主要的老化机理都已得到识别；

(2) 相关的老化机理及其效应已得到充分认识；

(3) 核动力厂运行期间，构筑物、系统和部件的老化状况与预期一致；

(4) 具有足够的老化裕量，确保核动力厂在下一次定期安全审查完成前能够安全运行；

(5) 核动力厂后续运行具备有效的老化管理大纲（涵盖运行、水化学、维修、监督和检查）。

7.3.4 根据定期安全审查中的老化管理审查结果，可能需要改进维修、监督和检查的范围、程序和/或频率，并修改运行条件或设计（包括构筑物和部件设计基准的可能变更）。

附录 A 老化管理数据收集和记录保存系统内容示例

核动力厂老化管理大纲所需数据一般可分为以下三类：

- (1) 基准信息：包括核动力厂和/或构筑物、系统和部件的设计数据以及部件或构筑物开始服役时的状态；
- (2) 核动力厂运行历史数据：包括构筑物、系统和部件层次的服役条件（包括瞬态数据）、部件和构筑物的可用性试验数据以及失效数据；
- (3) 维修历史数据：包括部件和构筑物的状态监测数据和维修数据。

老化管理数据收集和记录保存系统的数据示例如下：

- (1) 环境鉴定试验记录，包括试验技术要求及结果；
- (2) 制造、建造记录，包括制造和检查技术要求、检查结果及偏离；
- (3) 役前检查结果，包括检查技术要求及结果，以及超标结论；
- (4) 调试试验结果，包括试验技术要求及结果，以及调试期间环境状态的描述；
- (5) 水化学调查结果及其变化；
- (6) 在役检查结果，包括检查技术要求及结果，以及超标结论；
- (7) 定期功能性试验结果及相关结论；
- (8) 控制室和电站巡视人员检查结论；
- (9) 预防性维修结论；
- (10) 纠正性维修结论；
- (11) 构筑物、系统和部件老化失效或显著老化劣化数据，包括根本原因分析结果。

从有效的老化管理大纲中获取的数据将有助于营运单位有效地管理核动力厂配置，反之亦然。构筑物、系统和部件数据库只是整个综合数据库的一部分。综合数据库包含有运行、配置管理、维修及设计工作中的广泛信息。

附录 B 主要的老化劣化机理以及敏感材料和部件的示例

表 B.1 列举了机械部件、电气部件和设备、土建构筑物潜在老化劣化的一些例子。对特定构筑物或部件的老化劣化应按照第 4 章描述的老化管理审查过程，根据所使用的材质、环境状态和其他条件来确认。

表 B.1 主要的老化劣化机理以及敏感材料和部件

老化机理	敏感区域、材料、部件
机械部件	
辐照脆化	反应堆压力容器束带区、压力容器堆内构件
整体腐蚀、点蚀以及剥蚀（高、低温）	裂缝及隐藏区域、低流速或无流动部件、安注系统、厂用水系统
内表面应力腐蚀开裂（高、低温）	部件焊缝附近（异常化学条件）
外表面应力腐蚀开裂（与氯化物相关，高、低温）	泄漏阀门附近以及近海核动力厂的部件
隙间腐蚀（高、低温）	滞流区、焊缝附近、衬管区、支撑环焊缝
微生物导致的腐蚀（低温）	厂用水系统、热交换器、需要进行水压试验的设备、停运设备、地脚螺栓、柴油发电机
腐蚀疲劳（高、低温）	热混合区，特别是碳钢与合金钢
疲劳（高、低温）	旋转设备的支撑，以及大型设备上的接管
焊接相关的裂纹（未焊透、热延展、铁素体损耗、隙缝；高、低温）	同种金属焊接、锻造件与铸造件、低铁素体钢填角焊接、滚焊
混合区裂纹（高、低温）	异种金属焊接、容器与堆焊层的交界、安全端与管嘴连接处、阀门或泵与管道连接处（碳

	钢或者不锈钢)
低温敏感性 (高温)	不锈钢部件、铸件
机械磨损、微振磨损 (高、低温)	旋转设备
咬合与磨损	泵与阀门内的部件
电气、仪表和控制部件	
绝缘层脆化与性能劣化	电缆、电动机线圈、变压器
局部放电	变压器、感应器、中压及高压设备
氧化	继电器与断路器的触点、电器部件的润滑与绝缘材料
形成单晶体	须状结晶及树枝状结晶
金属扩散	电子元器件中的合金及焊缝
土建构筑物	
化学侵蚀引发的混凝土老化，以及预埋件的腐蚀	混凝土构件：墙壁、穹顶、底板、环形主梁、支撑梁、安全壳（适用时）
由于沉降引起应力上升，从而产生裂纹及发生扭曲	所有混凝土构件
由于松弛、收缩、蠕变及高温引发的预应力降低	安全壳预应力钢束
由于冻融过程造成的材料损坏（剥落、裂缝以及散裂）	混凝土构件：墙壁、穹顶、底板、环形主梁、支撑梁、安全壳（适用时）