|  |  |
| --- | --- |
| **ICS** | 27.120 |
| **CCS** | |  | | --- | | D:\000000部门项目\09标准化插件开发\程序源代码\StandardEditor_ShanDongKeXieYuan\团标首页面字母T.pngD:\000000部门项目\09标准化插件开发\程序源代码\StandardEditor_ShanDongKeXieYuan\团标首页面字母T后面的反斜杠.png CNS |   F 48 |

团体标准

**T**/**CNS** XXXX—XXXX

模块式小型堆钢制安全壳老化管理指南

**Ageing management guideline of steel containment vessel of**

**small modular reactor**

XXXX - XX - XX发布

XXXX - XX - XX实施

中国核学会  发布

目次

[前言 II](#_Toc7541)

[1 范围 1](#_Toc29242)

[2 规范性引用文件 1](#_Toc7146)

[3 术语和定义 1](#_Toc17293)

[4 老化管理对象 1](#_Toc18559)

[5 老化管理方法 2](#_Toc18503)

[6 老化管理内容 3](#_Toc22145)

[附录A （资料性 ） 老化管理数据清单 7](#_Toc5841)

[附录B （资料性 ） 老化敏感部位和老化机理清单 8](#_Toc6618)

[附录C （资料性 ） 老化探测方法 10](#_Toc30209)

[参考文献 12](#_Toc24121)

1. 前言

本文件按照GB/T1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国核学会提出。

本文件由核工业标准化研究所归口。

本文件起草单位：海南核电有限公司、中冶检测认证有限公司、中核武汉核电运行技术股份有限公司

本文件主要起草人：薛翔，鲍宇，荣华，廖善苇，杨林，张锋，吴小亮，苏倩倩，吴淑玉，刘子征，徐伟祖，李吉娃，岳腾霄，韩子叶。

模块式小型堆钢制安全壳老化管理指南

* 1. 范围

本标准规定了陆地上建造的模块式小型压水堆钢制安全壳老化管理的基本内容、方法及通用技术要求。

本文件适用于陆地上建造的模块式小型压水堆钢制安全壳老化管理工作的实施和改进。

* 1. 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；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 20431 压水堆核电厂钢制安全壳结构整体性试验

NB/T20018 压水堆核电厂安全壳密封性试验

NB/T20151 压水堆核电厂老化管理大纲编制指南

NB/T20153 核电厂预应力混凝土安全壳老化管理指南

NB/T20518 核电厂钢制安全壳老化管理指南

* 1. 术语和定义

NB/T20518、NB/T20153界定的术语和定义适用于本文件。

模块式小型堆 **small modular reactor**

电功率30万千瓦以下、模块化建造的反应堆。

老化机理 **aging mechanism**

导致构筑物、系统和部件的特性随时间或使用逐渐变化的特定过程。

老化效应 **aging effect**

随着设备的运行和服役时间的延长，由某种或几种老化机理导致的设备物理特性的改变，如变形、材料韧性降低、破损、绝缘老化、强度下降等。

老化管理大纲 **aging management program**

针对构筑物、系统和设备老化问题制定的管理程序。老化管理大纲应具有固定的格式，包含老化管理的范围、预防性措施、检测/监测参数、老化效应的探测、监测与趋势分析、验收准则、纠正性措施、确认过程、质量控制及运行经验共十个要素。

* 1. 老化管理对象
     1. 一般规定

模块式小型堆钢制安全壳老化管理的对象为钢制安全壳及其附属构件，包括安全壳容器和与之相连的贯穿件或附件等难以更换、长期服役、其老化降质影响安全功能的非能动部件。

混凝土屏蔽厂房和壳内构筑物的老化管理可按~~参照~~NB/T20153或其他相关标准执行。

* + 1. 典型部件

模块式小型堆钢制安全壳的典型部件包括：

1. 安全壳本体和涂层，如上封头、筒体、下封头及其焊缝等；
2. 附件，如加劲肋、开孔补强件等承压附件和热套管、贯穿件套管、容器支座和支承件等非承压附件；
3. 贯穿件，如电气贯穿件、机械贯穿件、人员闸门、设备闸门等；
4. 密封、垫片和防潮设施等。
   1. 老化管理方法
      1. 一般规定

应对模块式小型堆钢制安全壳开展主动的老化管理，老化管理应贯穿钢制安全壳的整个寿期，包括设计、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。

应协调模块式小型堆钢制安全壳老化管理已有的各个大纲，包括在役检查、监督、维修，以及运行、技术支持大纲，也包括外部单位相关的大纲等。

应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、监测以及缓解钢制安全壳的老化效应。

* + 1. 老化管理方法

钢制安全壳的老化管理是一个系统化的过程，应按照图1所示的方法进行管理。

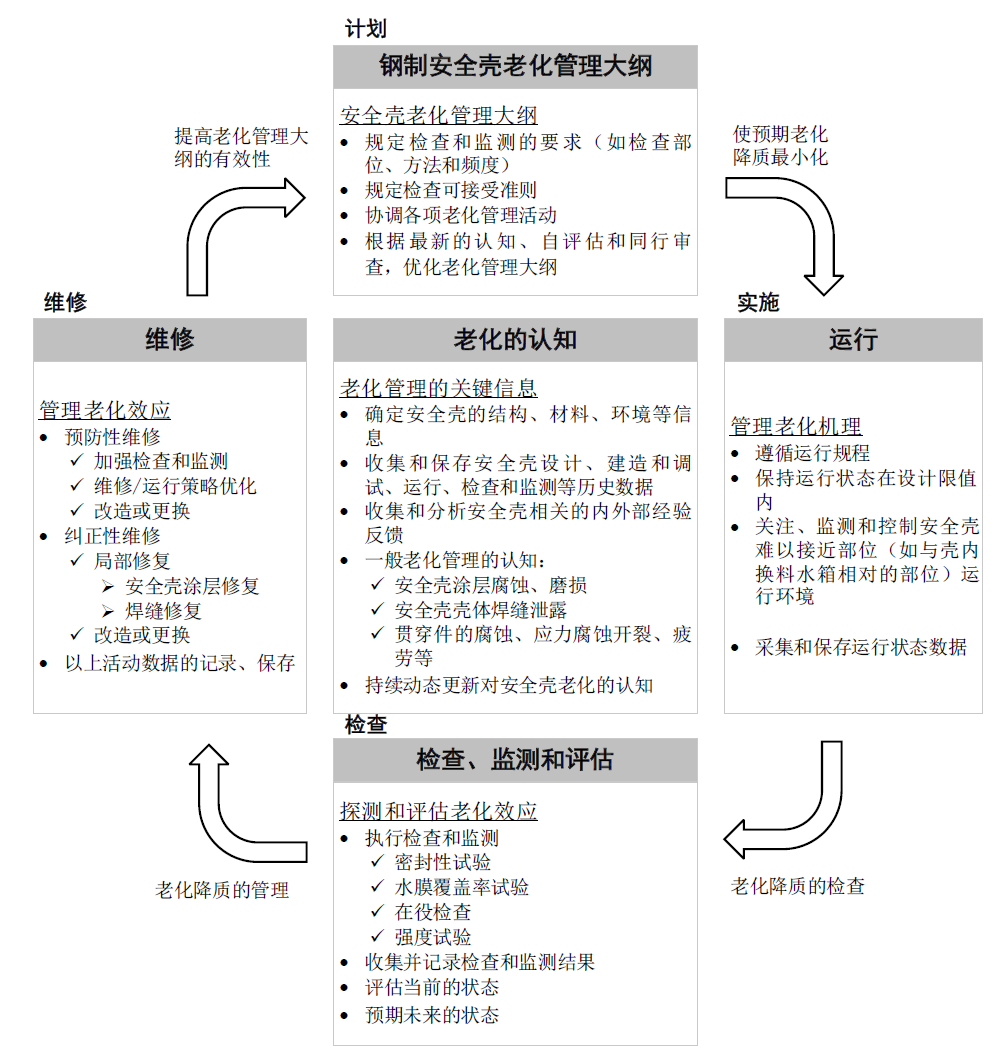
“计划”活动指应整合、协调以及修改和模块式小型堆钢制安全壳老化管理有关的现有大纲和活动，并在需要时建立新的大纲。

“实施”活动指应严格按照运行规程，使模块式小型堆钢制安全壳预期的性能劣化减至最小。

“检查”活动指应对模块式小型堆钢制安全壳及其焊缝进行检查和监测，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。

“维修”活动指应通过适当的维修和设计修改，包括部件的修理和更换，及时缓解和纠正模块式小型堆钢制安全壳的性能劣化。

“闭环管理”指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的结果，应对模块式小型堆钢制安全壳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。



1. 系统的老化管理方法
   1. 老化管理内容
      1. 数据收集和记录保存

应建立相应的数据收集和记录保存系统，为老化管理大纲的实施和优化提供数据信息。

数据收集应在模块式小型堆钢制安全壳建造初期开始收集，包含设计基准数据、建造数据、调试数据、运行数据、检查、试验、监测、维修更换和变更改造等相关资料，需收集的具体信息见附录A。

记录保存应包含模块式小型堆钢制安全壳整个寿期老化管理过程中涉及的数据和文件等资料，如：老化管理大纲、老化状态评估报告以及老化效应探测结果等。

* + 1. 组织机构设置
       1. 组织结构

应指定一个老化管理大纲的协调机构，负责审查和优化老化管理大纲、定期开展老化管理的自我评估等活动。

应跨专业、跨部门组建老化管理组，包括来自运行、维修、研发等部门的专家，必要时协调外部专家，共同解决老化问题。

应指定具体实施老化管理大纲的部门，要求其定期报告构筑物、系统和部件的性能。

* + - 1. 人员要求

应了解老化管理对象的设计要求和功能特性，并具备组织协调相关管理和技术人员开展钢制安全壳老化管理工作的能力。

应按照适用的法规，或规定取得相应的资质，并得到相应的工作授权。

* + 1. 老化认知

老化识别是开展有效老化管理的关键，应基于以下信息：

1. 设计文件；
2. 材料特性；
3. 服役环境；
4. 性能要求；
5. 建造和调试记录；
6. 运行和维修记录；
7. 检查、监测和试验数据；
8. 运行经验反馈；
9. 相关标准规范；
10. 相关研究成果；
11. 其他数据及文件。
    * + 1. 老化敏感部位

应以模块式小型堆钢制安全壳的安全为基础，从构筑物构件和系统部件清单中鉴别出故障或失效会直接或间接导致安全功能丧失或受到损害的构件和部件，并确定可能会引起失效的部分。

应将筛选出的、对老化劣化敏感的构件和部件，根据设备类型、材质、服役条件及劣化状况等因素进行分组。

应对筛选出的老化敏感部位予以关注，钢制安全壳的老化敏感部位见附录B。

* + - 1. 老化机理

模块式小型堆钢制安全壳潜在的老化机理见附录B。

* + 1. 老化管理大纲
       1. 老化管理大纲编制

应明确适当的老化管理行动和措施，及时发现并缓解模块式小型堆钢制安全壳的老化效应。

应明确老化管理有效性指标，评价当前老化管理措施的有效性。

应包含范围、预防性措施、检测/监测参数、老化效应的探测、监测和趋势分析、验收准则、纠正性措施、确认过程、质量控制、运行经验等基本内容。

老化管理大纲应编制相应表格，明确材料特性、老化部位、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、缓解措施以及验收准则等信息，便于对钢制安全壳的老化认知与管理。

应遵循HAD103/12的有关原则，并符合NB/T20151的规定。

* + - 1. 老化管理大纲实施

应按老化管理大纲中规定的检查、监测和评估等活动执行。

应收集、记录老化管理的相关数据，便于确定后续老化管理行动的类型和时机。

应定期报告钢制安全壳的性能及老化管理大纲有效评价指标的状况，必要时进行维护和维修。

* + - 1. 老化管理大纲改进

应定期评估老化管理大纲的有效性，必要时进行修订和调整，确保老化管理大纲符合相关标准的规定。

应开展老化管理大纲的自我审查、同行审查、综合审查等，确保老化管理大纲符合行业惯例。

应根据老化管理大纲有效性评估结果，重点针对老化管理的弱项，持续优化和改进老化管理大纲，如老化机理、探测方法等。

* + 1. 老化效应探测
       1. 老化状态指标

应明确能够表征模块式小型堆钢制安全壳老化程度的功能参数或状态指标。

可采用如下参数作为老化状态指标：

1. 模块式小型堆钢制安全壳壁厚；
2. 涂层状态，包括附着力、粉化、起泡、失光、破损等；
3. 表面缺陷；
4. 内部缺陷；
5. 焊缝缺陷；
6. 附件和贯穿件的腐蚀、开裂、疲劳等；
7. 密封性，包括整体密封性和局部密封性；
8. 结构强度。
   * + 1. 探测方法

分析评价现有检测、监测、试验、监督等技术的有效性和实用性，应选择适用的检测、监测、试验和监督方法，确保其具有足够的灵敏度、可靠性和精度探测老化状态指标。必要时，可配合老化留样开展补充检查和确认。

应定期对模块式小型堆钢制安全壳的各项老化参数进行探测，并评估其是否满足要求。

模块式小型堆钢制安全壳老化效应探测方法主要有宏观目视检查或爬壁机器人检查、超声检查、磁粉检查、液体渗透检测、老化检测、安全壳密封性试验和强度试验，见附录C。

若选择的探测方法不足以充分支撑和评价部分管理对象的老化状态，应对该类管理对象的工作环境、运行使用情况等进行检测和监测，以间接支撑其老化状态评估。

应定期评估老化效应探测方法的有效性，必要时及时进行补充或改进。

* + 1. 验收准则

应确定模块式小型堆钢制安全壳各项老化状态指标的验收准则。

当模块式小型堆钢制安全壳老化状态不满足验收准则时，应进行工程评估或维修/更换，并详细记录。

* + 1. 老化状态评估

应根据老化管理大纲、老化效应探测数据、验收准则等对模块式小型堆钢制安全壳的实际性能和状态进行评估，并编制老化状态评估报告，必要时还应包括更新后的检查和状态评估数据。

老化状态评估报告应明确钢制安全壳当前的性能和状态，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。

老化状态评估报告必要时可预测模块式小型堆钢制安全壳的性能趋势及使用寿命等。

对不可接受的老化状态，应形成专项评估报告。

* + 1. 老化效应缓解

应基于详细的老化效应探测、评估结果以及老化状态评估报告采取合适的老化缓解方法和纠正措施，如涂层修复、部件更换等。

应记录老化缓解和控制措施的数据。

应在考虑相关运行经验和研究成果的基础上确定模块式小型堆钢制安全壳老化劣化缓解方法和措施的有效性。

2. （资料性）  
   老化管理数据清单

模块式小型堆钢制安全壳老化管理收集的主要数据参见表A.1。

* 1. 模块式小型堆钢制安全壳老化管理数据清单

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 数据类型 | 来源 | 信息 |
| 设计基准 | 设计文件 | 设计寿命  设计原理  设计规范或标准  材料设计特性  设计压力和设计基准荷载  设计温度  设计泄漏率 |
| 建造和调试数据 | 建造图纸和竣工文件 | 建造细节  建造顺序  变更记录 |
| 技术规范 | 建造标准  材料来源  材料特性  质量等级、检查、试验  技术变更  技术规范变更  建造顺序  建造方法 |
| 质量控制记录 | 鉴定材料试验记录  焊缝检验记录 |
| 试运行试验记录 | 结构整体性试验记录  密封性试验记录 |
| 运行数据 | 电厂运行规程 | 服役载荷  环境条件  故障载荷  安全规程  维修规程 |
| 检查和监测数据 | 检查和监测记录 | 目视检查数据  试验数据 |
| 电厂管理/实施 | 电厂历史维修记录  涂层检查及修复记录 |

1. （资料性）  
   老化敏感部位和老化机理清单

模块式小型堆钢制安全壳的潜在老化敏感部位和老化机理见表B.1。

* 1. 模块式小型堆钢制安全壳老化敏感部位和老化机理清单

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 敏感部位 | 预定功能 | 材料 | 环境 | 老化机理 | 老化效应 |
| 筒体  上封头  下封头 | 屏蔽、保护 | 钢 | 空气-室内非受控和室外 | 均匀腐蚀 | 材料损耗，壁厚减薄 |
| 筒体  上封头  下封头 | 屏蔽、保护 | 钢 | 空气-室内非受控和室外 | 点蚀 | 材料损耗，壁厚减薄 |
| 筒体  上封头  下封头 | 屏蔽、保护 | 钢 | 空气-室内非受控和室外 | 缝隙腐蚀 | 材料损耗，壁厚减薄 |
| 筒体  上封头 | 屏蔽、保护 | 钢 | 空气-室内非受控和室外 | 机械磨损 | 材料损耗，涂层受损 |
| 筒体  上封头 | 屏蔽、保护 | 钢 | 空气-室内非受控和室外 | 涂层破坏 | 材料腐蚀，热传导效果下降 |
| 筒体  上封头  下封头 | 屏蔽、保护 | 钢 | 空气-室内非受控和室外 | 时效应变老化 | 断裂韧性降低/时效应变老化（温度>93℃） |
| 筒体 | 屏蔽、保护 | 钢 | 空气-室内非受控和室外 | 疲劳 | 承载能力降低 |
| 贯穿件套管  人员闸门  设备闸门  换料通道 | 结构支撑/结构压力边界 | 钢  异种金属焊缝 | 空气-室内非受控或空气-室外 | 均匀腐蚀 | 材料损耗 |
| 贯穿件套管  闸门 | 结构支撑/结构压力边界 | 钢  异种金属焊缝 | 空气-室内非受控或空气-室外 | 点蚀 | 材料损耗 |
| 贯穿件套管  人员闸门  设备闸门 | 结构支撑/结构压力边界 | 钢  异种金属焊缝 | 空气-室内非受控或空气-室外 | 缝隙腐蚀 | 材料损耗 |
| 贯穿件套管 | 结构支撑/结构压力边界 | 钢  异种金属焊缝 | 空气-室内非受控或空气-室外 | 电偶腐蚀 | 材料损耗 |
| 筒体  上封头  下封头 | 结构支撑/结构压力边界 | 钢  异种/同种金属焊缝 | 空气-室内非受控或空气-室外 | 疲劳 | 疲劳、裂纹 |

* 1. 模块式小型堆钢制安全壳老化敏感部位和老化机理清单（续）

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 敏感部位 | 预定功能 | 材料 | 环境 | 老化机理 | 老化效应 |
| 贯穿件波纹管 | 结构支撑/结构压力边界 | 钢 | 空气-室内非受控或空气-室外 | 应力腐蚀开裂 | 开裂  泄漏 |
| 贯穿件套管  贯穿件弹簧 | 结构支撑/结构压力边界 | 钢  不锈钢  异种金属焊缝 | 空气-室内非受控或空气-室外 | 疲劳 | 开裂  泄漏 |
| 人员闸门  设备闸门  换料通道 | 结构支撑/结构压力边界 | 钢 | 空气-室内非受控或空气-室外 | 机械磨损 | 丧失气密性  锁、铰链和封头的机械磨损 |
| 密封、垫片和防潮设施 | 屏蔽、保护 | 合成橡胶及其他类似材料 | 空气-室内非受控或空气-室外 | 密封材料失效 | 丧失密封性  贯穿件泄漏  密封、垫片和防水隔离层劣化 |

1. （资料性）  
   老化探测方法
   1. 容器本体和涂层老化探测方法
      1. 目视检查

可通过目视检查发现潜在老化降质迹象，检查钢制安全壳表面是否出现腐蚀、点蚀、涂层起皮/空鼓/剥落等缺陷。对于不易达区域如筒体高处及上封头可采用爬壁机器人进行缺陷检查。

* + 1. 超声波检测

对需要详细检测的区域，可通过超声波探测钢制安全壳表面和内部缺陷，检测腐蚀的深度和区域，是一种无损检测方法。但该方法有可能探测不到正下方的内部缺陷，且不适用于表面粗糙或较薄部件。

* + 1. 磁粉检测

对需要详细检测的区域，可通过磁化铁磁性材料部件，使其在合适的光照下形成目视可见的磁痕，从而显示出不连续性的位置、大小、形状和严重程度。但该方法只适用于铁磁性材料，受检表面必须是可接近的，且外部磁场会影响大型部件的检查结果。

* + 1. 液体渗透检测

对需要详细检测的区域，可采用液体渗透检测，根据物理学中的毛细、渗透、吸附现象，利用显影剂呈现工件表面缺陷。但该方法只能探测表面缺陷，且检查结果受表面粗糙度和孔隙的影响。

* + 1. 钢制安全壳厚度检测

可采用超声波测厚仪对钢制安全壳厚度进行检测，检测位置应具有代表性。对于受腐蚀的构件，宜将腐蚀层除净后再进行测量。

* + 1. 涂层厚度检测

可采用超声波测厚仪对涂层厚度进行检测，检测位置应具有代表性。检测前应清除测试点表面的灰尘、油污等。

* + 1. 涂层附着力检测

可采用涂层附着力测试仪，依据相关标准对涂层与基体的结合强度进行检测。

* + 1. 密封性试验

安全壳密封性试验能有效地监测安全壳压力边界部件的泄漏率，依据泄漏率的计算结果和性能评估可验证安全壳密封性及结构完整性。试验方法应参考NB/T20018执行。

* + 1. 强度试验

可通过强度试验评估安全壳整体结构强度性能，试验周期和方法应参考NB/T 20431执行。

强度试验开始前、最大压力平台以及试验结束应对钢制安全壳的外观进行目视检查；强度试验期间，应通过外观目视检查、监测系统以及地形测量等，监测、验证和评价钢制安全壳机械行为特性和结构强度的演变情况，安全壳强度试验的数据及结果应和最近上一次的安全壳强度试验数据及结果相比较，确认变化趋势是否有异常。另外，在日常运行期间，应定期测量安全壳的位移和变形情况，并进行趋势分析。

* 1. 附件和贯穿件老化探测方法
     1. 目视检查

可通过目视检查对可接近的部件检查是否出现磨损、损坏、表面开裂等缺陷。

* + 1. 局部密封性试验

可通过局部密封性试验检测人员闸门、设备闸门等部件的泄漏率，试验方法应参考NB/T20018执行。

* 1. 密封、垫片和防潮设施老化探测方法
     1. 目视检查

可通过目视检查判断密封、垫片和防潮设施是否出现开裂、尺寸收缩、硬度增加等缺陷。

* + 1. 局部密封性试验

可通过局部密封性试验检测垫片等部位的泄漏率，试验方法应参考NB/T20018执行。

参考文献

1. U. S. Nuclear Regulatory Commission, Generic Aging Lessons Learned (GALL) Report[M]. NUREG-1801, U.S. NRC, Washington, DC., 2010.
2. D. J. Naus. Inspection of Nuclear Power Plant Structures – Overview of Methods and Related Applications[M]. ORNL/TM-2007/191, Oak Ridge National Laboratory, 2009.
3. NB/T20431, 压水堆核电厂钢制安全壳结构整体性试验[S]. 北京：核工业标准化研究所，2017.
4. GB/T42143, 压水堆核电厂钢制安全壳设计建造规范[S]. 北京：中国标准出版社，2022.
5. 王苏昇. 核电厂安全壳老化机理分析与探测方法[J]. 工业建筑, 2009, 39卷增刊, p1085-1089.
6. 杨林, 王永焕, 林松涛. 核电厂安全壳老化管理[J]. 工业建筑, 2009, 39卷增刊, p1094-1097.
7. 李振云, 陈良, 吴雪松. 海南昌江多用途模块式小型堆示范工程技术特点及调试准备[J]. 中国核电, 2023, 16(01): 133-137.