

NB

中 华 人 民 共 和 国 能 源 行 业 标 准

NB/T 20518—2018

核电厂钢制安全壳老化管理指南

**Ageing management guideline of steel containment vessel
in nuclear power plants**

2018-12-10 发布

2019-04-01 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 一般要求 1

5 数据收集和记录保存 2

6 老化管理方法 3

7 老化管理内容 3

附录 A（资料性附录） 钢制安全壳老化管理所需的数据 6

附录 B（资料性附录） 7

附录 C（资料性附录） 钢制安全壳典型老化机理 8

附录 D（资料性附录） 钢制安全壳老化敏感部位 9

附录 E（资料性附录） 钢制安全壳的主要探测方法 10

前 言

本标准按照GB/T 1.1—2009给出的规则起草。

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：国核电站运行服务技术有限公司，上海核工程研究设计院有限公司，国家电投科学技术研究院有限公司。

本标准主要起草人：钟志民、马先宏、董新宇、柳胜华、王兆希。

核电厂钢制安全壳老化管理指南

1 范围

本标准给出了压水堆核电厂钢制安全壳老化管理工作的实施指南。

本标准适用于压水堆核电厂钢制安全壳的老化管理，其他反应堆钢制安全壳老化管理可参照使用。

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。

NB/T 20151 压水堆核电厂老化管理大纲编制指南

NB/T 20153 核电厂预应力混凝土安全壳老化管理指南

NB/T 20482—2018 压水堆核电厂钢制安全壳设计建造规范

NB/T 20431—2017 压水堆核电厂钢制安全壳结构整体性试验

3 术语和定义

NB/T 20153界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

钢制安全壳 steel containment

核电厂安全壳的一种类型，多采用低合金钢制造，是阻止放射性物质向环境释放的最后一道屏障，通常也是最终热阱的非能动安全级换热界面，包括安全壳容器和与安全壳容器本体相连的贯穿件或附件。

3.2

混凝土屏蔽厂房 containment shielding building

在钢制安全壳外，将钢制安全壳整体屏蔽起来，为钢制安全壳提供厂外飞射物屏障及支持钢制安全壳实现非能动安全壳冷却功能的混凝土构筑物。

4 一般要求

4.1 工作目标

核电厂钢制安全壳老化管理工作的目标是保证钢制安全壳在服役期间始终保有其设计功能，将其老化降质控制在可接受的限度内。

4.2 管理对象

4.2.1 钢制安全壳老化管理的对象为钢制安全壳，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参照 NB/T 20153 或其他相关标准执行。

4.2.2 钢制安全壳的实体边界参见 NB/T 20482—2018。

4.2.3 钢制安全壳的安全功能主要包括：

- a) 在运行状态和事故工况下包容放射性物质；
- b) 保护反应堆使其免受外部自然事件和人为事件的影响；
- c) 在运行状态和事故工况下屏蔽辐射；
- d) 具有非能动安全系统的核电厂，执行非能动换热功能。

4.2.4 钢制安全壳的典型部件包括：

- a) 安全壳容器本体和涂层，如顶封头、筒身段、下封头等；
- b) 安全壳容器附件，如加劲肋、开孔补强件等承压附件和热套管、贯穿件套筒、安全壳容器支座、和支承件等非承压附件；
- c) 贯穿件，如电气贯穿件、机械贯穿件、人员闸门、设备闸门等；

4.3 组织机构和人员要求

4.3.1 核电厂老化管理组织体系应涵盖钢制安全壳老化管理，为安全壳的老化管理提供资源保证，协调老化管理活动，组织开展安全壳老化管理大纲的编制、实施和改进等工作。

4.3.2 从事钢制安全壳老化管理工作的人员，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。

4.3.3 状态监测、试验、维修及无损检验等支持老化管理活动的工作人员应按照适用的法规，或规定取得相应的资质，并得到相应的工作授权。

4.4 文件要求

4.4.1 开展钢制安全壳老化管理工作，一般应形成以下文件：

- a) 编制并适时更新钢制安全壳老化管理大纲，该大纲主要用于指导钢制安全壳老化管理的活动；
- b) 老化管理审查报告，其中包括老化认知、老化效应监测和老化效应缓解等审查内容；
- c) 老化状态评估报告。

4.4.2 开展钢制安全壳老化管理工作，应至少收集并利用以下文件：

- a) 钢制安全壳老化管理对象的设计、建造、调试、运行、变更改造等文件和记录；
- b) 用于执行老化监测、试验、维修及无损检验等具体工作的相关程序文件，其相应的工作成果应形成书面报告。

4.4.3 4.4.1 及 4.4.2 中的文件和资料还应符合第 5 章的要求。

5 数据收集和记录保存

5.1 一般要求

应根据钢制安全壳老化管理大纲建立相应的数据收集和记录保存系统。该系统可作为核电厂总的老化管理数据收集和记录保存系统的组成部分。

5.2 数据收集

实施钢制安全壳老化管理之前应收集相关数据资料，作为老化管理工作的基础。数据资料的来源包括设计基准数据、建造和调试数据、运行数据、检查、试验、监测、维修更换和变更改造等相关数据。需收集的具体信息可参见附录A。

5.3 记录保存

钢制安全壳老化管理实施前和实施过程中收集的相关数据资料以及新形成的老化管理大纲审查报告、评估报告、工作程序等文件以及老化探测结果数据等都应至少与机组同寿期保存。

6 老化管理方法

6.1 应对核电厂钢制安全壳开展主动的、全寿期的老化管理，该工作应贯穿核电厂的设计、建造、调试、运行和退役等各个阶段。

6.2 应采用系统化的方法协调钢制安全壳老化管理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。该方法的工作流程可参见资料性附录 B。

7 老化管理内容

7.1 老化识别

7.1.1 一般要求

7.1.1.1 对钢制安全壳的老化识别应建立在对老化机理的充分认知和对核电厂安全壳运行环境等条件的充分分析基础之上。

7.1.1.2 钢制安全壳的老化机理可结合以下因素加以分析：

- a) 设计文件；
- b) 材料性能；
- c) 服役条件；
- d) 性能要求；
- e) 建造和调试记录；
- f) 运行和维修记录；
- g) 运行经验，包括重要事件记录；
- h) 相关标准规范；
- i) 相关研究成果。

7.1.1.3 老化识别是一个持续的、动态的过程，应借鉴同类核电厂的经验反馈及业界的研究成果等良好认知和实践持续更新对钢制安全壳的老化识别。

7.1.2 老化机理

7.1.2.1 钢制安全壳的潜在老化机理可参见附录 C。

7.1.3 老化敏感部位筛选

7.1.3.1 应针对钢制安全壳筛选出老化敏感部位并予以关注。

7.1.3.2 应结合老化发生的可能性、部件的重要性、老化后果的严重性以及经验反馈等几方面因素筛选钢制安全壳老化敏感部位。

7.1.3.3 钢制安全壳的老化敏感部位可参见附录 D。

7.2 老化管理大纲的编制

7.2.1 钢制安全壳老化管理大纲应能协调运行、检查、监测、试验、维修等各项活动和可能影响钢制安全壳所处环境状态或服役条件的事项。

7.2.2 建立老化管理大纲，以达到：

- a) 明确适当的老化管理行动和措施，及时发现并缓解老化对钢制安全壳的不利影响；
- b) 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。

7.2.3 应根据核电厂的实际情况，遵循 HAD 103/12 的有关原则，按照 NB/T 20511—2012 的适用要求，编制钢制安全壳老化管理大纲。

7.2.4 钢制安全壳老化管理大纲应包含适用范围、缓解和控制老化劣化的预防性措施、老化效应的探测、监测和劣化趋势预测、老化效应的缓解、验收准则、纠正行动、运行经验和研发结果反馈、质量管理等内容。

7.2.5 钢制安全壳老化管理大纲中应有一个汇总表。该汇总表应对所管理的具体部件或其老化敏感部位进行编号，并逐项扼要列出材料、老化危害因素和环境、老化机理和老化效应、检查和监测要求及方法、缓解措施、法规规范要求以及验收准则等信息，也可按照 NB/T 20511—2012 的适用要求编制汇总表。

7.3 老化管理大纲的实施

核电厂钢制安全壳的老化管理活动应按照老化管理大纲的规定实施，至少应包括以下内容：

- a) 保持钢制安全壳的运行状态在设计限值以内；
- b) 执行老化管理大纲中规定的检查、监测和评估活动；
- c) 收集、记录老化相关数据；
- d) 必要的维护和维修；
- e) 定期评估并及时改进老化管理大纲。

7.4 老化管理大纲的审查和改进

7.4.1 应根据 HAD 103/12 和 NB/T 20511—2012 的相关要求，定期评估核电厂钢制安全壳老化管理大纲的有效性。

7.4.2 可采用自我审查、同行审查、综合审查等方式并按照 NB/T 20511—2012 评估老化管理大纲的有效性。

7.4.3 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，持续优化和改进核电厂钢制安全壳老化管理大纲。

7.5 老化效应的探测

7.5.1 老化状态指标

7.5.1.1 应明确能够表征钢制安全壳老化程度的功能参数或状态指标。

7.5.1.2 钢制安全壳可采用如下参数作为老化状态指标：

- a) 容器壁厚；
- b) 安全壳密封性，包括整体密封性和局部密封性；
- c) 涂层状态，包括附着力降低、粉化、起泡、失光、破损等；
- d) 表面缺陷尺寸；
- e) 内部缺陷尺寸。

7.5.2 探测方法

7.5.2.1 基于钢制安全壳的老化状态指标，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，选择适用的检测、监测、试验和监督方法。所选择的方法应具有足够的灵敏度、可靠性和精度。

7.5.2.2 按 7.5.2.1 要求所选择的探测方法若不足以充分支撑和评价部分管理对象的老化状态，则还应考虑对该类管理对象的工作环境、运行使用情况等进行监测和检测，以间接支撑其老化状态评估。

7.5.2.3 钢制安全壳老化效应探测的主要方法可参见附录 E。

7.5.3 探测方法的评估和改进

7.5.3.1 应在老化管理审查或老化管理大纲的实施和改进过程中定期评估老化效应探测方法的有效性。

7.5.3.2 应根据 7.5.3.1 的评估结果及时补充或改进老化效应探测方法。

7.6 状态评估

7.6.1 宜根据钢制安全壳老化管理大纲的要求评估钢制安全壳的实际状态并编制状态评估报告。

7.6.2 钢制安全壳老化状态评估报告应包括当前状态的评估，必要时还可包括钢制安全壳寿命评估。

7.7 老化缓解

7.7.1 基于钢制安全壳的老化状态探测和评估结果、老化状态评估报告，可参照附录 B 中的“运行”和“维修”内容选择适当的老化缓解和控制措施。

7.7.2 应记录老化缓解和控制活动的数据。

附 录 A
(资料性附录)
钢制安全壳老化管理所需的数据

钢制安全壳老化管理主要基础数据参见表 A.1

表A.1 钢制安全壳老化管理主要基础数据

数据类型	来源	信息
设计基准数据	设计文件	设计寿命和设计原理 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 技术变更和技术规范变更 材料来源 材料特性 质量等级、检查、试验 建造顺序和建造方法
	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
电厂运行数据	电厂运行活动	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 密封性试验数据 水膜覆盖率试验数据 安全壳仪表系统的测量数据
	电厂管理/实施	电厂历史 维修历史

附录 B
(资料性附录)
钢制安全壳老化管理方法

钢制安全壳老化管理方法参见图B.1

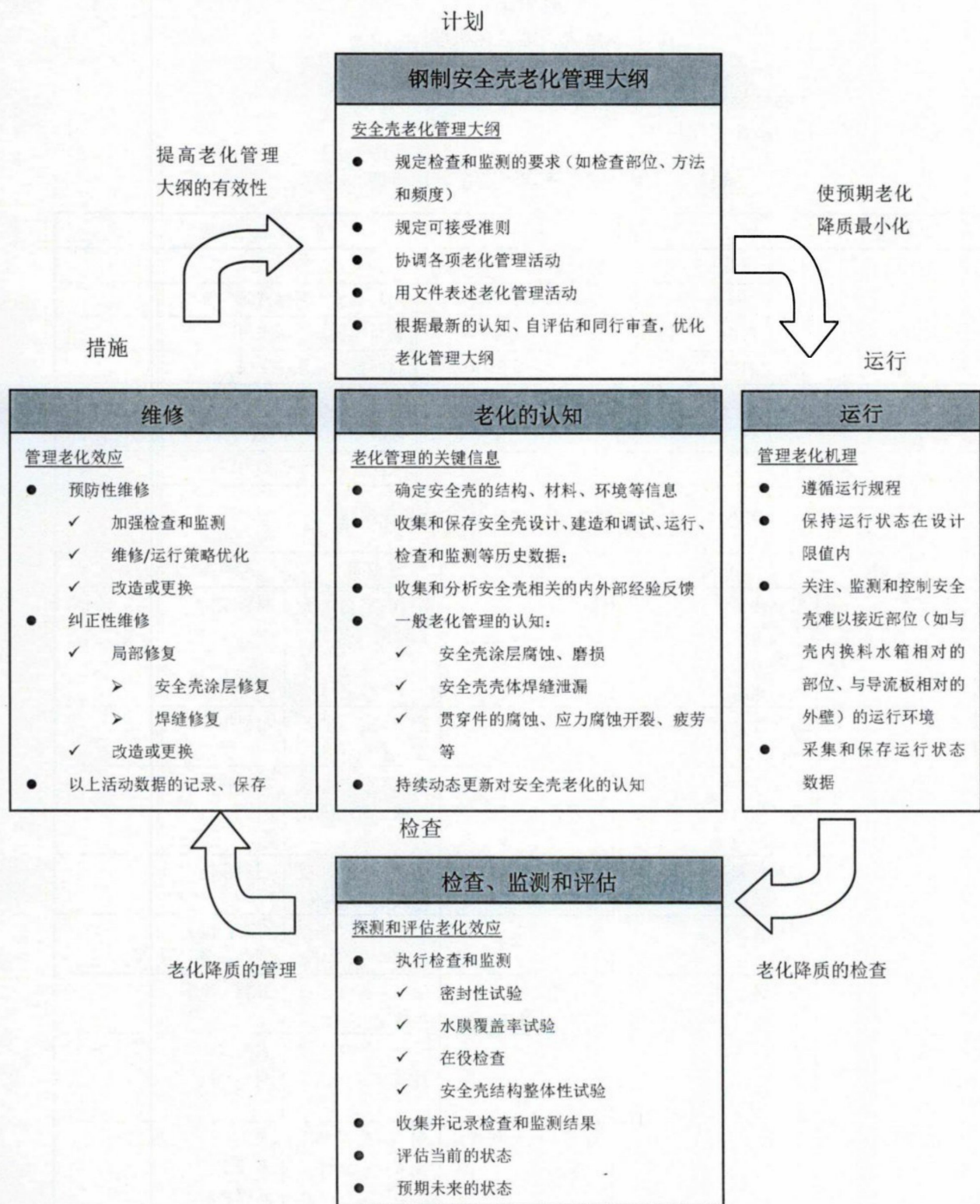


图 B.1 钢制安全壳老化管理方法

附 录 C
(资料性附录)
钢制安全壳典型老化机理

钢制安全壳容器潜在老化机理如表 C.1 所示。

钢制安全壳附属部件的潜在老化机理如表 C.2 所示。

表 C.1 钢制安全壳容器潜在老化机理

编号	老化机理	部件	环境	老化效应
1	均匀腐蚀	筒体、上封头、下封头	空气-室内非受控和室外	材料损耗，壁厚减薄
2	点蚀	筒体、上封头、下封头	空气-室内非受控和室外	材料损耗，壁厚减薄
3	缝隙腐蚀	筒体、上封头、下封头	空气-室内非受控和室外	材料损耗，壁厚减薄
4	机械磨损	筒体、上封头	空气-室内非受控和室外	材料损耗，涂层受损
5	涂层破坏	筒体、上封头	空气-室内非受控和室外	材料腐蚀，热传导效果下降
6	时效应变老化	筒体、上封头、下封头	空气-室内非受控和室外	断裂韧性降低/时效应变老化(温度>93℃)
7	疲劳	筒体	空气-室内非受控和室外	安全壳容器承载能力降低

表 C.2 钢制安全壳附属部件的潜在老化机理

编号	老化机理	部件	材料	环境	老化效应
1	均匀腐蚀	贯穿件套管 人员闸门 设备闸门 换料通道	钢 异种金属焊缝	空气-室内非受控或空气-室外	材料损耗
2	点蚀	贯穿件套管 闸门	钢 异种金属焊缝	空气-室内非受控或空气-室外	材料损耗
3	缝隙腐蚀	贯穿件套管 人员闸门 设备闸门	钢 异种金属焊缝	空气-室内非受控或空气-室外	材料损耗
4	电偶腐蚀	贯穿件套管	钢 异种金属焊缝	空气-室内非受控或空气-室外	材料损耗
5	应力腐蚀开裂	贯穿件波纹管	钢	空气-室内非受控或空气-室外	开裂；泄漏
6	疲劳	贯穿件套管 贯穿件弹簧	钢；不锈钢 异种金属焊缝	空气-室内非受控或空气室外	开裂；泄漏
7	机械磨损	人员气闸门 设备闸门 换料通道	钢	空气-室内非受控或空气-室外	丧失气密性；锁，铰链和封头的机械磨损
8	密封材料失效	密封、垫片和防潮设施	合成橡胶及其他类似材料	空气-室内非受控或空气室外	丧失密封性；安全壳贯穿件泄漏；密封，垫片和防水隔离层劣化

附录 D
(资料性附录)
钢制安全壳老化敏感部位

钢制安全壳老化敏感部位参见表 D. 1

表 D. 1 钢制安全壳老化敏感部位

环境或运行条件	典型区域	可能位置
承受加速腐蚀的区域，而该区域的允许腐蚀量很小或没有 或者保护涂层缺失或反复剥落，已导致壳体材料腐蚀或点蚀的区域	接触积水的区域 干湿反复循环的区域 持续泄漏区域 微生物侵蚀区域 其形状容易导致积水的区域	贯穿件套管及波纹管 换料期间表面潮湿的区域 混凝土-钢接触区 埋入混凝土的壳体，包括被楼板遮挡的部分 异种金属焊缝 设备闸门的密封面 安全壳筒体段涂层，特别是环境湿度大易结露的部位
磨损较为严重的区域	机械磨损或磨蚀导致涂层损失、变形或材料损伤的区域 频繁振动的区域	外加肋上方 顶封头 人员闸门、设备闸门

附 录 E
(资料性附录)
钢制安全壳的主要探测方法

钢制安全壳的老化效应可通过试验和/或无损检测加以探测。

a) 密封性试验

密封性试验分为整体密封性试验和局部密封性试验，前者用于检测钢制安全壳的整体密封性，后者用于检测安全壳贯穿件、闸门等附属部件的密封性。试验方法应参考NB/T 20018—2010。

b) 无损检测

安全壳表面的腐蚀、点蚀、涂层损坏等老化效应可通过目视检测加以探测。对于需要详细检查的局部区域，可通过超声测厚、磁粉、渗透等无损检验方法加以探测。对于埋入混凝土的部分不可达区域，可通过超声导波加以检测。

c) 涂层附着力测试

按适用标准进行涂层附着力测试。

中 华 人 民 共 和 国
能 源 行 业 标 准
核电厂钢制安全壳老化管理指南
NB/T 20518—2018

*

核工业标准化研究所出版发行
北京海淀区骚子营1号院
邮政编码：100091
电 话：010-62863505
原子能出版社印刷
版权专有 不得翻印

*

2019年4月第1版 2019年4月第1次印刷
印数1—50 定价28.00元