

NB

中 华 人 民 共 和 国 能 源 行 业 标 准

NB/T 20527—2018

**重水堆核电厂一回路管道流动加速腐蚀
管理指南**

**Flow accelerated corrosion management guideline for primary loop piping of
heavy water 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 管理对象 1

5 管理组织机构 1

6 管理大纲 1

7 管理流程 4

8 管理内容 5

9 质量保证 8

附录 A（资料性附录） 一回路管道流动加速腐蚀管理相关的数据 9

附录 B（资料性附录） 一回路管道材料化学成分推荐值 10

附录 C（资料性附录） 一回路流动加速腐蚀管理相关化学参数控制值与期望值 11

参考文献 12

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：中核核电运行管理有限公司、上海核工程设计研究院有限公司。

本标准主要起草人：赵亮、石秀强、胡建群、王欣、郑永祥、薛新才、徐雪莲、谢永诚、丁亚平。

重水堆核电厂一回路管道流动加速腐蚀管理指南

1 范围

本标准规定了重水堆核电厂一回路管道流动加速腐蚀管理工作的基本要求。
本标准适用于重水堆核电厂一回路管道流动加速腐蚀的管理。

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。

HAF 601 民用核安全设备设计制造安装和无损检验监督管理规定

HAD 103/07 核电厂在役检查

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

流动加速腐蚀 flow accelerated corrosion

指特定材质管道部件在特定运行条件下发生的管道内壁氧化膜由于介质流动不断溶解造成的管道壁厚损失的一种腐蚀形式。流动加速腐蚀是重水堆核电厂一回路管道的主要腐蚀降级机理。

4 管理对象

重水堆核电厂一回路压力边界碳钢管道及一回路辅助系统的碳钢管道，主要包含以下管道：

- 主管道；
- 进出口集管；
- 热传输支管；
- 辅助系统管道。

5 管理组织机构

5.1 核电厂应明确一回路管道流动加速腐蚀管理的责任部门，结合实际情况建立相应的组织，该组织一般由设备管理、在役检查、化学控制、维修、运行等人员构成，负责一回路管道流动加速腐蚀管理工作。

5.2 应确定该组织的职责分工及其与其他组织机构的接口，为一回路管道流动加速腐蚀管理提供资源保证。

6 管理大纲

6.1 构建管理体系

核电厂应建立针对一回路管道流动加速腐蚀管理的全过程管理体系，主要包含数据管理、材料管理、化学调控、敏感部位识别、定期检查、状态评估、维修、经验反馈管理等8个管理环节，这些管理环节有机结合为一个整体，通过各环节的分析、响应、实施、完善实现流动加速腐蚀管理体系的循环优化。一回路管道流动加速腐蚀管理体系结构图见图1。

6.2 编制管理大纲

核电厂应编制一回路管道流动加速腐蚀管理大纲，用于协调管理体系中各环节的活动，明确给出各环节的方法、要求和判定准则等。管理大纲至少应包含以下内容：

- a) 一回路管道流动加速腐蚀管理总则；
- b) 流动加速腐蚀管理组织机构的人员分工、接口及相关资质要求；
- c) 基本数据收集与管理的方法和要求；
- d) 管道材料规范管理、修补更换、材质变更的要求；
- e) 化学调整、控制、评估和响应的要求；
- f) 一回路管道流动加速腐蚀的敏感部位；
- g) 敏感部位的定期检查计划；
- h) 开展定期检查的方法和要求；
- i) 一回路管道状态评估方法和要求；
- j) 一回路管道流动加速腐蚀局部减薄缺陷的修复更换方法和要求；
- k) 经验反馈的分析与响应要求；
- l) 质量保证要求和文件记录要求。

6.3 优化管理大纲

核电厂应定期对管理大纲的有效性进行评估，根据评估结果适时修订管理大纲。同时，核电厂应定期根据最新的认知，审查优化管理大纲。

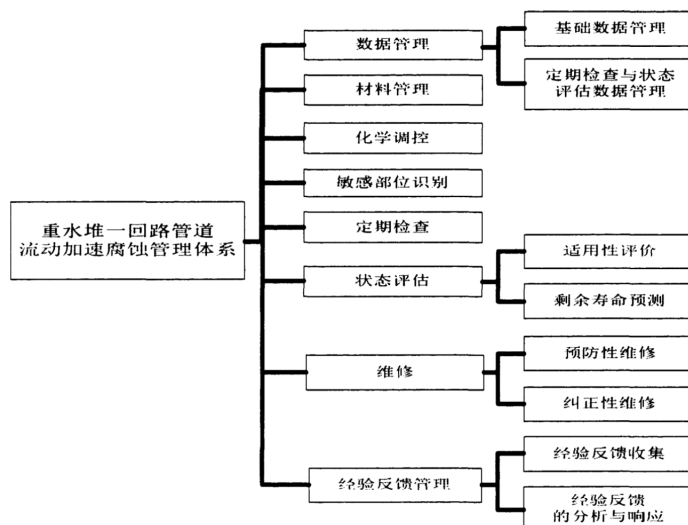


图1 一回路管道流动加速腐蚀管理体系结构图

7 管理流程

核电厂一回路管道流动加速腐蚀管理的流程主要应包含编制管理大纲、识别敏感部位和制定监督计划、运行控制、检查、监测和评估、维修等环节，具体流程见图2。

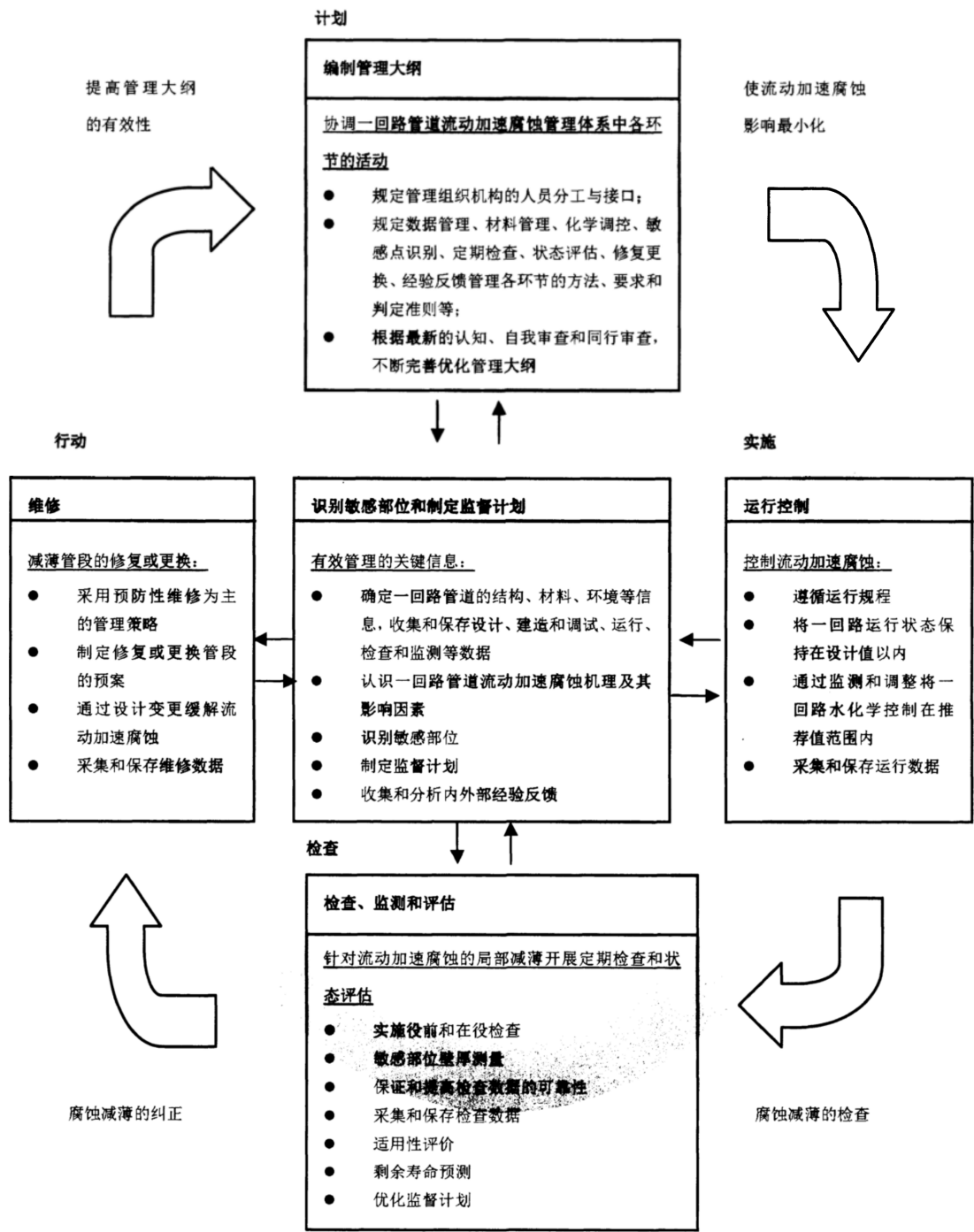


图2 一回路管道流动加速腐蚀管理流程图

8 管理内容

8.1 数据管理

8.1.1 基础数据管理

核电厂应汇编核电厂一回路管道相关的数据文件，宜建立流动加速腐蚀管理数据库。数据包括核电厂一回路管道流动加速腐蚀管理所涉及的主要数据，包含原始数据、运行数据和维修数据等，相关数据及其来源参见附录A所述。

一回路管道流动加速腐蚀管理是一个持续循环优化的动态过程，核电厂应针对设计和运行条件的改变、流动加速腐蚀管理的经验、同类核电厂的经验反馈及业界的研究成果等持续更新流动加速腐蚀管理数据。

核电厂应按照运行质量保证大纲的要求系统、有效地记录和保存检查和监测过程中产生的数据和管道状态评估过程中生成的分析数据，并进行有效管理，保证数据的可靠性和可追溯性。

8.2 材料管理

8.2.1 材料管理总体要求

材料管理主要从规范管道材料的使用、抑制流动加速腐蚀和减少腐蚀活化产物等方面进行规范管理。在重水堆核电厂一回路管道的设计建造阶段和电厂投运后一回路管道的修补更换和设计变更环节需要考虑材料管理的问题。

8.2.2 规范管道材料的使用

重水堆核电厂一回路管道为核1级低碳钢管，应按照相应的设计规范、材料规范和管道部件规范等明确限定一回路低碳钢管道的材料牌号、规格和压力等级等技术要求，并据此规范管道的采购、安装、修补更换等各环节中材料的选用。附录B提供了一回路低碳钢管道材料的化学成分推荐值。

8.2.3 抑制流动加速腐蚀

根据流动加速腐蚀的机理及其影响因素，从材料的角度抑制流动加速腐蚀主要是适当提高低碳钢管道的铬含量，一回路管道材料中铬含量的推荐值参见附录B。

8.2.4 减少腐蚀活化产物

一回路低碳钢管道在高温还原性水环境中的流动加速腐蚀是不可避免的，因此为尽可能减少腐蚀活化产物，应限制一回路管道材料的钴含量。一回路管道材料中钴含量的推荐值参见附录B。

8.3 化学控制

核电厂应按照设计要求明确各种运行模式下的化学控制方法并对化学参数进行监督、调整和控制，使化学参数保持在控制指标范围内，并尽可能使化学参数保持在期望值范围内；当化学参数突破运行限值要求时，应采取相应的纠正行动予以处理。

核电厂应明确化学参数的取样点和取样规则，保证分析数据的可靠性和可追溯性，保存寿期内取样记录和化学参数记录。

核电厂应对所采集的一回路化学参数进行定期分析和长期跟踪，评估化学参数的变化趋势和异常对一回路管道流动加速腐蚀的影响。

一回路流动加速腐蚀相关化学参数的控制指标、期望值推荐值参见附录C。

8.4 敏感部位识别

8.4.1 敏感部位识别总体要求

核电厂应依据一回路的运行特点、流动加速腐蚀的机理及其影响因素、一回路管道的流体特征等及外部经验反馈等识别出一回路管道的敏感部位。

8.4.2 敏感部位

主管道上的敏感部位主要位于：

- 主泵出口管段；
- 弯管区。

8.4.3 进出口集管

进出口集管上的敏感部位主要位于集管与热传输支管连接的支管接头部位的湍流区。

8.4.4 热传输支管

热传输支管上的敏感部位主要位于：

- 弯管区。应重点关注流量和流速乘积较大的热传输支管弯管区和可能存在汽液两相流的出口支管弯管区；
- 对接焊缝下游；
- 流量元件下游管段。

8.4.5 辅助系统管道

辅助系统管道上的敏感部位主要位于：

- 孔板下游管段；
- 控制阀下游管段；
- 泵出口管段；
- 弯头及其连接管段；
- 三通及其连接管段；
- 变径及其连接管段。

8.5 定期检查

核电厂应在管理大纲中明确规划寿期内流动加速腐蚀敏感部位的壁厚减薄监督检查计划，给出检查位置选取、检查频度和检查方法的原则和要求。

应按照HAD 103/07及管理大纲的要求执行检查和监测。实施检查的单位和人员资质应满足HAF 601的要求。

针对流动加速腐蚀的检查方法主要包括超声壁厚测量、射线检测等。为保证检查数据的可靠性和可追溯性，有必要开发专用的检测辅助工具和设备。应确认现有检查和监测系统的灵敏度、可靠性和精度，以评估检查和监测系统的有效性和适用性。

检查发现存在明显腐蚀减薄趋势后，检查的范围和频度应随之扩大，必要时以其他无损检测或破坏性试验作为补充；管理大纲中应明确扩大范围检查的原则和要求。对多次检查未发现腐蚀减薄趋势的检查位置可适当降低检查频度。

8.6 状态评估

8.6.1 总体要求

需针对流动加速腐蚀问题开展一回路管道状态评估工作，以管理大纲规定的验收准则开展适用性评价工作，确认一回路管道的当前状态是否可以接受，并通过其发展趋势估算腐蚀减薄速率，预测管道的剩余寿命，以指导后续的维修活动。

8.6.2 验收标准

验收准则的制定应利用原始设计时采用的标准、规范或类似的规定，同时应考虑现行的设计标准和规范。

如果设计文件中明确包含了设计限值，则设计限值可作为适用的验收准则。

如果标准和规范以及设计文件均未明确给出设计限值，核电厂应根据实际条件（材料、功能要求、设计要求、行为特性等）进行专项评估或者采用业界开发的相关标准作为评估结果的验收准则。

8.6.3 适用性评价

应通过验收准则评估检查和监测的结果以确定一回路管道的当前状态是否可以接受。

应对影响一回路管道长期安全运行的不可接受状态进行专项评估，评估流动加速腐蚀对一回路管道安全功能的潜在影响。当不能完全了解流动加速腐蚀降级的过程时，需启动相应的试验或模拟研究。

8.6.4 剩余寿命预测

应根据役前及在役阶段的定期检查的历史数据分析流动加速腐蚀的发展趋势，估算腐蚀减薄速率，预测管道的剩余寿命。

通过趋势分析和比对，评估在下次计划检查前一回路管道的状态是否仍在可接受的范围内。如果在下次计划检查前一回路管道的状态超出可接受的范围，应评估管道性能达到下限的时间，从而制定时间窗口实施必要的维修。

8.7 维修

一回路管道的维修活动包括预防性维修和纠正性维修，核电厂应根据流动加速腐蚀的变化情况对维修规程进行优化。应系统、有效地保存维修活动过程中的数据和记录。

预防性维修包括：

- a) 加强检查和监测，开展基于状态的维修；
- b) 为防止加速老化而优化维修规程；
- c) 在部件的性能不能满足设计要求之前改造或更换受损部件。

纠正性维修包括：

- a) 局部修复，恢复部件至可接受状态；
- b) 在部件的性能不能满足设计要求之后改造或更换受损部件。

8.8 经验反馈

8.8.1 信息收集

核电厂应尽可能收集相关的内、外部经验反馈，并及时进行分析与响应。

需收集的经验反馈主要集中在以下几个方面：

- a) 核安全相关的流动加速腐蚀事件；
- b) 类似设计的同类电厂的相关事件；
- c) 类似的管道或部件失效事件；

- d) 由相同的供货商提供的管道或部件失效事件；
- e) 设计变更不当或选材不当导致的一回路管道流动加速腐蚀失效事件；
- f) 对核电厂安全生产运行有重大影响的流动加速腐蚀失效事件。

所获取的流动加速腐蚀事件的基本信息通常包含以下信息：

- a) 核电厂所在国家或地区、核电厂名、机组号、发生流动加速腐蚀事件时机组的运行状态；
- b) 流动加速腐蚀引起的缺陷描述；
- c) 流动加速腐蚀失效管线、部件的规格描述；
- d) 流动加速腐蚀失效管线的设计参数和运行工况；
- e) 事件的影响及后果；
- f) 核电厂的纠正行动及后续措施。

8.8.2 分析与响应

核电厂应对具有反馈价值的事件进行分析，结合流动加速腐蚀的机理及影响因素分析确认事件发生原因与流动加速腐蚀有关，并将一回路管道与事件失效管线或部件的情况进行对比分析，找出相同或者类似工况、结构或材质的同类管线，结合管线的壁厚检测情况和评估结果，分析管线流动加速腐蚀降级状态。

通过经验反馈的分析，找出同类管线存在的问题并进行响应，必要时，对管理大纲进行修订，修改对应敏感位置识别的原则和检测计划。

9 质量保证

9.1 管理过程的质量控制

一回路管道流动加速腐蚀管理工作应符合核电厂运行质量保证大纲的要求保证各环节管理工作实施过程中的质量。

9.2 记录管理

应按照核电厂运行质量保证大纲的要求保存和管理一回路管道流动加速腐蚀管理过程中的各类数据和记录，数据的分类与存档应具有规范性与统一性，保证数据处于专用文件体系中。

附 录 A

(资料性附录)

一回路管道流动加速腐蚀管理相关的数据

一回路管道流动加速腐蚀管理相关的数据文件包括设计图纸、建造过程文件、运行与维修记录、外部经验反馈等。这些数据可以归纳为三种类型：原始数据、运行数据以及维修数据，参见A.1。

原始数据描述了设备及其所在核电厂的相关信息，反映了设备的设计意图、主要功能、分析报告、初始状况、设计工况和运行限制条件等。

运行数据是部件所经历的实际运行状况，包括有关工艺条件、化学数据、环境数据和瞬态数据以及部件的可用性试验和失效数据等。

维修数据应包括状态监测数据、设备的维修历史数据等。

在建立流动加速腐蚀管理数据库过程中，需要判断将来可能获得的数据的数量和类型，数据收集的方法与流程应基于管理大纲的需求。

表A.1 一回路管道流动加速腐蚀管理相关的数据来源

数据类型	来源	信息
原始数据	设计分析及调试文件	设计手册 设备技术规格书 设计图样 设计规范或标准 老化机理信息 制造商数据 材料性能试验结果 安装数据 设计变更和现场变更记录 调试记录 不符合项报告
运行数据	核电厂运行活动	使用载荷 工艺条件 环境条件 化学数据 瞬态数据 运行模式 可用性试验数据 部件失效数据
维修数据	核电厂检查、监测和维修记录	定期检查数据 状态评估数据 维修记录

附 录 B
(资料性附录)
一回路管道材料化学成分推荐值

一回路管道材料化学成分推荐值参见表B.1

表B.1 一回路管道材料化学成分推荐值

合金元素	化学成分(%)			
	主管道	热传输支管	集管	辅助系统管道
C(最大值)	0.25	0.25	0.25	0.25
Mn(取值范围)	0.29~1.06	0.29~1.06	0.29~1.06	0.29~1.06
P(最大值)	0.035	0.035	0.035	0.035
S(最大值)	0.035	0.035	0.035	0.035
Si(最大值)	0.1	0.1	0.1	0.1
Cr(取值范围)	0.2~0.4	0.3~0.4	≤0.4	≤0.4
Cu(最大值)	0.4	0.4	0.4	0.4
Mo(最大值)	0.15	0.15	0.15	0.15
Ni(最大值)	0.4	0.4	0.4	0.4
V(最大值)	0.08	0.08	0.08	0.08
Co(最大值)	0.01	0.01	0.01	0.015

附 录 C
(资料性附录)

一回路流动加速腐蚀管理相关化学参数控制值与期望值

表C.1 一回路流动加速腐蚀管理相关化学参数控制值与期望值

参数	控制指标	期望值
pHa	10.2~10.8	10.2~10.4
溶解氘 (ml/kg)	3~10	3~7
溶解氧 (ug/kg)	≤10.0	<1.0
氯 (mg/kg)	<0.2	<0.1
锂 (mg/kg)	0.35~1.40	0.35~0.55
电导率 (μS/cm)	9~36	9~14.5

中 华 人 民 共 和 国
能 源 行 业 标 准
重水堆核电厂一回路管道流动加速腐蚀
管理指南

NB/T 20527—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