

ICS 27.120.20

F 69

备案号: 41464-2013

NB

中华人民共和国能源行业标准

NB/T 20233—2013

代替 EJ 433-1989 和 EJ 434-1989

压水堆核电厂核蒸汽供应系统设备的清洁 和清洁度要求

**Requirements of cleaning and cleanliness for components in steam supplying
system of PWR nuclear power plant**

2013-06-08 发布

2013-10-01 实施

国家能源局 发布

目 次

前言 I I

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

 3.3 1

4 清洁基本要求 2

 4.1 清洁的目的 2

 4.2 清洁时机要求 2

 4.3 文件要求 2

5 分级 2

 5.1 清洁度等级 2

 5.2 工作区等级 3

 5.3 工作地带 5

 5.4 建造现场的工作区和工作地带的关系 6

6 清洁度检查 7

 6.1 一般要求 7

 6.2 与工作流体接触的设备表面清洁度的检查 8

 6.3 其它检查 8

 6.4 清洁检查报告 8

7 防污染 9

 7.1 概述 9

 7.2 材料要求 9

 7.3 防污染要求 9

 7.4 制造和现场安装的防污染措施 11

8 清洁方法 1

 8.1 机械清理 1

 8.2 化学清洁 1

 8.3 洗涤和干燥 1

9 清洁度的保持 1

 9.1 试验用水水质 1

 9.2 防护和保养 1

 9.3 存放要求 1

 9.4 运输 1

9.5 现场的最终安装..... 19

9.6 安装后清洁的保持..... 20

附录 A（规范性附录） 清洁度的检查和验收准则..... 21

附录 B（规范性附录） 保温材料选择和安装的特殊要求（防腐鉴定和验收试验）..... 24

附录 C（规范性附录） 确定氯、氟和硫含量的化学分析方法..... 26

前 言

本标准按照GB/T 1.1—2009给出的规则起草。

本标准代替EJ 433—1989《核供汽系统的设备清洗和包装要求》和EJ 434—1989《核供汽系统设备在贮存、制造、安装和启动期间的清洁度要求》。本标准与EJ 433—1989和EJ 434—1989的相关内容相比，主要技术变化如下：

- 内容编排作了较大结构性调整；
- 删除了清洗程序中的内容要求；
- 删除了清洁区和备用区的区域划分和要求；
- 删除了水压试验阶段以及热功能试验后清洁堆内构件的特定程序内容；
- 删除了有机溶液蒸汽除油的清洁方法要求；
- 根据系统类型和工作流体类别重新规定了设备的清洁度等级要求，清洁度检验准则也进行了相应修改；
- 增加了工作区、工作地带的要求；
- 增加了现场工作地带的图表说明；
- 增加了保温层选择和安装的特殊要求；
- 删除了附录中用于核供气系统设备奥氏体不锈钢部件和系统的压敏带的氯化物和氟化物的测定方法；
- 增加了确定氯、氟和硫含量的化学分析方法。

本标准主要参考了EJ 433、EJ 434和RCC-M F6000，与之相比，除内容结构不同外，主要差异为将RCC-M标准中的引用标准改为相应的国家标准或行业标准；并根据国内设计与制造的经验，将RCC-M标准中的名词术语改为国标常用名词术语。

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：中国核动力研究设计院。

本标准主要起草人：罗英、张亚斌、杨敏、王眉、周高斌、李长香、谢国福。

本标准代替了EJ 433—1989和EJ 434—1989。

EJ 433—1989和EJ 434—1989均于1989年首次发布。

压水堆核电厂核蒸汽供应系统设备的清洁和清洁度要求

1 范围

本标准规定了压水堆核电厂核蒸汽供应系统设备清洁的技术要求、清洁度的分级及工作区的定义、清洁后的检验及相关准则、防污染及清洁方法的要求、清洁度保持及现场建造期间最终清洁操作的要求。

本标准适用于压水堆核电厂核蒸汽供应系统设备在制造、运输、贮存、安装、调试和投入运行前的清洁与清洁度的检验。

2 规范性引用文件

下列文件对于本标准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标准。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本标准。

GB/T 1549 纤维玻璃化学分析方法

GB/T 17393 覆盖奥氏体不锈钢用绝热材料规范

NB/T 20002.6 压水堆核电厂核岛机械设备焊接规范 第6部分：产品焊接

3 术语和定义

3.1

流体 fluids

3.1.1

工作流体 process fluid

在核电厂正常运行期间系统或设备中的液体或气体。

3.1.2

一回路流体和注入流体 primary fluid and injected fluids

保证堆芯冷却的工作流体，包括来自于补充流体、仪表和安全系统的流体。

3.2

表面 surfaces

3.2.1

关键性表面 critical surfaces

热交换器传热管内外表面及承受摩擦的表面，诸如：轴承、枢轴、支承表面、密封接触面等。

3.2.2

可见表面 visible surfaces

以肉眼或借助内窥镜能看得见的表面。

3.2.3

不可见表面 non-visible surfaces

不符合3.2.2定义的表面。此外，所有公称直径不大于150 mm管的内表面也认为是不可见表面。

3.3

工作区 **work area**

设备或设备零件（例如内表面或外表面）所临近的周围环境。

3.4

工作地带 **work zone**

在建造现场，指定的核岛厂房的若干房间（例如：同一层高的不同房间）的统称。

3.5

耐腐蚀表面 **corrosion-resistant surfaces**

不锈钢和镍基合金的表面。

3.6

非耐腐蚀表面 **non-corrosion-resistant surfaces**

碳钢、低合金钢和一些铬不锈钢的表面。

3.7

敏化奥氏体不锈钢 **sensitized austenitic stainless steel**

不符合晶间腐蚀要求的奥氏体不锈钢。

4 清洁基本要求

4.1 清洁的目的

清洁的目的是限制回路存在杂质而引起的下列危害：

- a) 反应堆堆芯沉积物的活化；
- b) 沉积物对运动部件的不利影响；
- c) 对不锈钢合金的局部（或均匀）腐蚀；
- d) 沉积物造成的热交换能力下降。

4.2 清洁时机要求

设备要求的清洁度应在制造的最后阶段（能够验证适用准则）达到，并应维持到系统灌充工作流体之前。

除特殊要求外，清洁操作应在制造车间完成。清洁完成后的制造、运输、贮存、现场安装、调试等操作应包括维持或恢复设备清洁度的要求。

在对设备进行清洁之后到给该设备所在系统灌充工作流体之前这段时间内，允许清洁度略有暂时性降低，但应符合下列要求：

- a) 对设备保存无不利的影响，如材料不受腐蚀；
- b) 所要求的清洁度可通过后续的正常清洁操作恢复。

4.3 文件要求

设备清洁前应编制相应的清洁、检查、保护、保养、包装、贮存和运输等操作规程。规程文件应由承担相关操作的单位编制，根据不同情况可以针对给定的设备，也可以适用于制造车间或建造现场。

5 分级

5.1 清洁度等级

5.1.1 概述

根据系统类型和工作流体类别，清洁度等级划分为A级、B级、C级三个等级，其严格程度依次降低。清洁度分级适用于设备直接与工作流体接触的表面。

5.1.2 A级

与一回路流体或注入到一回路中的流体接触的所有设备表面属于A级。

按照设备表面的可接近性，又将A级细分为两级：

——A1级：适用于在建造最终阶段能直接进行清洁和检查的设备表面；

——A2级：适用于A1级以外的设备表面。

其中，A2级可进一步划分为：

——A21级：适用于要求特殊清洁条件的精密或形状复杂的设备表面；

——A22级：适用于其它A2级的设备表面，除A23级所包括的管道及其配件例外。对于蒸汽发生器传热管的外表面，在蒸汽发生器制造完成前，都定为A22级；

——A23级：适用于管道及其配件。

5.1.2 B级

与以下介质接触的所有设备表面属于B级：

——蒸汽发生器二次侧的水或蒸汽（再循环除外）；

——设备冷却水系统的水；

——一回路的下泄流体（不再注入的）和废液（不锈钢设备表面）或未混入空气的废气。

5.1.3 C级

与废液（非不锈钢设备表面）或混入空气的废气接触的所有设备表面属于C级。

5.2 工作区等级

5.2.1 分类

按照对清洁度要求的严格程度依次递减的顺序，将工作区划分为Ⅰ级、Ⅱ级和Ⅲ级工作区：

——Ⅰ级工作区：A21级设备与工作流体接触的表面所要求的环境。

——Ⅱ级工作区：A1级、A22和A23级设备与工作流体接触的表面所要求的环境。

——Ⅲ级工作区：B级和C级设备与工作流体接触的表面所要求的环境。

蒸汽发生器传热管束外部要求为Ⅱ级工作区。

5.2.2 基本要求

5.2.2.1 概述

工作区仅适用于设备（或其零部件）的初始清洁工作之后和可能对设备清洁度有不利影响的后续工作。

工作区可以是常设或者是临时性的，且适用于制造车间和建造现场。

根据不同情况，可以在临近设备的区域设定工作区。工作区可以是整个厂房或车间；也可以是车间或建造现场内的划定部分，或者是采取适当方法遮蔽的相对于内表面的设备外壁环境。

5.2.2.2 Ⅰ级工作区

I级工作区的要求如下：

- a) 隔离室，在设备周围应长期或临时设立封闭或增压的隔离室，该隔离室应能很好地防止外界污染并具有规定的清洁度；
- b) 专用工作服，工作人员应穿外面无扣（尽可能用拉链）、口袋应能完全封闭的白色工作服。工作人员应戴帽子和不起毛的白手套，穿干净的鞋或套鞋。参观者须穿白色工作服或工作罩衣及套鞋（如接触设备应戴不起毛的白手套）方能进入工作区；
- c) 增压隔离室的空气过滤，增压隔离室的补充空气应是经过滤的清洁、干燥的空气。空气应先经网眼公称尺寸不大于 20 μ m 的过滤装置方能鼓入隔离室；
- d) 工作人员和参观者的进出口，工作人员和参观者应通过密封舱或邻近配备有更衣装备的房间进入。进出工作区前、后，人员应更衣；
- e) 禁止事项，禁止吸烟、进食和便溺；
- f) 地面、墙壁和天花板，地面要有光滑的覆层（固定的或可拆卸的）。永久性隔离室的墙壁和天花板材料本身不得产生灰尘；
- g) 防尘，应严格限制在隔离室内进行各种加工及一切可能产生微尘的活动。不可避免时，应安装吸排尘系统；
- h) 地面清扫，地面应始终保持清洁。由于特殊活动产生的无用物应立即清除；
- i) 机械防护，应装有足够的机械防护装置以保护设备免受重物坠落撞击。在建造现场，反应堆堆内构件必须有机械防护设施。

5.2.2.3 II级工作区

II级工作区的要求如下：

- a) 专用工作服，工作人员应穿清洁的衣服和鞋（或套鞋）；
- b) 防污染，应采取一切措施限制人为（食物、饮料、香烟等）的污染；
- c) 地面、墙壁和天花板，地面应有光滑的覆层（固定的或可拆卸的）。永久性隔离室的墙壁和天花板材料本身不得产生灰尘；
- d) 防尘，在工作区内应采取预防措施，防止尘土进入已清洁过或正在清洁的设备。建造现场应避免进行浇灌混凝土工作；
- e) 地面清扫，地面应每日清扫，可根据所进行的工作类型缩短或延长清扫时间间隔；
- f) 工作区的标志，应采用实体隔离出工作区的边界。

5.2.2.4 III级工作区

III级工作区的要求如下：

- a) 防污染，应采取一切措施限制人为（食物、饮料、香烟等）的污染；
- b) 防尘，在制造、安装和土建施工同时进行，应对该操作加强管理；
- c) 地面清扫，地面应每周清扫，可根据所进行的工作类型缩短或延长清扫时间间隔；
- d) 工作区的标志，在建造现场，应采用实体隔离出工作区的边界（在制造车间内，为非强制性的）。

5.3 工作地带

在建造现场，应指定工作地带。随着建造现场工作的进展，应升级组成工作地带的房间的清洁度。这些房间构成逐步重新分级的工作地带。

在各个建造现场，主承包商应制定指明N级工作地带如何重新划为N-1级工作地带的图表，如图1所示。此图应发送给有关制造商。

根据要求的严格程度的递降顺序，划分为I级~IV级4个工作地带。



图1 N级工作地带定名为N-1级工作地带的典型流程图

5.3.1 I级工作地带

I级工作地带要求为：

- 隔离室，隔离室应为封闭式；
- 专用工作服，工作人员应穿外面无扣（尽可能用拉链）、口袋应能完全封闭的白色工作服；戴帽子和不起毛的白手套，穿干净的鞋或套鞋；
- 人员和设备的进出口，工作地带的警卫应持有在此工作的人员及其带进工具的清单。工具和备在搬进工作地带前须经清洁；
- 禁止事项，禁止吸烟、进食和便溺；
- 地面清扫，地面应始终保持清洁，产生的无用物应立即清除；
- 工作地带的标志，应采用实体隔离出工作地带的边界。

5.3.2 II级工作地带

II级工作地带要求为：

- 专用工作服，人员应穿干净的服装和鞋或套鞋，此要求应逐步满足；
- 人员和设备的进出口，工作地带的警卫应持有在此工作的人员名单。只允许携带必要的设备和工具进入工作地带；
- 防污染，应采取一切措施限制人为（食物、饮料、香烟等）的污染；
- 地面清扫，地面应每日清扫，可根据进行的工作类型缩短或延长清扫时间间隔；
- 工作地带的标志，应采用实体隔离出工作地带的边界。

5.3.3 III级工作地带

III级工作地带要求为：

- a) 人员和设备的进出口，人员和设备的进入应予以管理，但不需系统性的控制；
- b) 地面清扫，地面应每周清扫，可根据进行的工作类型缩短或延长清扫时间间隔；
- c) 工作地带的标志，应采用实体隔离出工作地带的边界，设有限的进出口。

5.3.4 IV级工作地带

IV级工作地带要求为：

- a) 人员和设备的进出口，人员和设备的进入应予以管理，但不需系统性的检查；
- b) 地面清扫，地面应定期清扫，清除垃圾。

5.4 建造现场的工作区和工作地带的关系

在安装操作的环境条件不符合要求而影响设备表面清洁度的场合，应围绕工作地点建立临时工作区。

当需要在建造现场I级工作地带内建立I级工作区时，如已满足5.2.2.2中列项c)、f)、g)、i)的要求，则无需建立临时工作区。

当需要在建造现场II级工作地带建立II级工作区时，如已满足5.2.2.3中列项a)、c)、d)的要求，则无需建立临时工作区。

当需要在建造现场III级工作地带建立III级工作区时，如已满足5.2.2.4中列项a)、b)的要求，则无需建立临时工作区。

6 清洁度检查

6.1 一般要求

在设备清洁工作完成后，应立即实施检查以验证设备表面达到的清洁度。检验内容、验收准则和方法见附录A。

对各类表面的清洁度检查应包括开展的检验和表1、表2中规定的相关准则。另外，应区分耐腐蚀表面和非耐腐蚀表面，以及关键性表面和非关键性表面。

若发现清洁状况发生恶化（特别是在设备安装时和安装后），而且这种恶化足以对已获得的清洁度有影响时，则应按照6.2规定的方法进行检查，必要时应重新进行清洁。

表1 A1级、A21级、A22级、A23级的检查及其相关准则

清洁度 级别	耐腐蚀表面	
	关键性表面	非关键性表面
A1	A 检查 准则 2 B 检查 准则 6 D（或 Da）检查 准则 8	A 检查 准则 3 B 检查 准则 6 D 检查 准则 9
A21	Ab（或 Aa）检查 准则 1 B 检查 准则 6 D（或 Da）检查 准则 8	A 检查 准则 1 B 检查 准则 6 D 检查 准则 8

表1 A1级、A21级、A22级、A23级的检查及其相关准则（续）

清洁度 级别	耐腐蚀表面	
	关键性表面	非关键性表面
A22	A 检查 准则 2 B 检查 准则 6 D（或 Da）检查 准则 8 不可见表面： F 检查 ¹⁾ 准则 10 热交换器管内表面：E（或 Ea）检查 准则 6	A 检查 准则 3 B 检查 准则 6 D 检查 准则 9 不可见表面： F 检查 ¹⁾ 准则 10
A23	A 检查 准则 2 B 检查 准则 6 D（或 Da）检查 准则 8 现场安装期间或安装后： F 检查 准则 10	A 检查 准则 3 B 检查 准则 6 D 检查 准则 9 现场安装期间或安装后： F 检查 准则 10

¹⁾ 如果不能再接近的表面的状态意外的变坏之后而不需拆卸就能达到要求的清洁度，当需要验证清洁度时则应进行这种检查。

²⁾ 对于不可见的管道（公称直径≤150mm），仅在管的两端进行这些检查。

表2 B 级、C 级检查及相关准则

清洁度级别	耐腐蚀表面		非耐腐蚀表面
	关键性表面	非关键性表面	
B	A 检查 准则 2 B 检查 准则 6 F 检查 ²⁾ 准则 10	A 检查 准则 4 B 检查 准则 6 ¹⁾ F 检查 ²⁾ 准则 11（废液回路时再加上准则 12）	A 检查 准则 4 B 检查 准则 7 ¹⁾ F 检查 ²⁾ 准则 11
	热交换器传热管道内表面： E 检查 准则 6		热交换器传热管道内表面： E 检查 准则 7
C	A 检查 准则 2 F 检查 ²⁾ 准则 10	A 检查 准则 4 或 5 F 检查 ²⁾ 准则 12	A 检查 准则 5 F 检查 ²⁾ 准则 12

¹⁾ 只有在发现可疑区时，才以B检查来补充A检查。

²⁾ 上述的F检查用于：

- 管道：现场安装期间或安装后；
- 其它部件：如果不可达的表面状态意外的变坏之后，但设备不需拆卸就能达到要求的清洁度，此时的清洁度需要验证时应进行该检查。对于不可见的管道（公称直径≤150mm），在管的两端进行 A、B 检查。

6.2 与工作流体接触的设备表面清洁度的检查

任何给定的设备，清洁度检查A、B、D应根据制造商规定的工艺，在选取的样板表面进行。样板表面应足够的宽，从而使制造商在考虑环境因素的条件下确保设备获得所要求的清洁度。

在任何情况下，可疑部位都应进行这些检查。

同一清洁类别的检查应相互补充，并应按表1或表2规定的顺序进行检查。

在每项检查之间应采取措施保持先前检查所确定的清洁度。在每项检查之间不得进行加工操作。

6.3 其它检查

6.3.1 不接触工作流体的耐腐蚀表面

下列奥氏体不锈钢设备表面（一般是设备的外表面），应作目视检查：

——对 A 级清洁等级的设备：作 A 检查，采用准则 3；

——对 B 级和 C 级清洁等级的设备：作 A 检查，采用准则 4。

设备发运前应在车间进行检查。在建造现场，当检查的设备表面成为不可达之前，尤其是安装保温材料之前，应重新检查。安装保温材料之前应将设备外壁上可能有的胶带、粘性残留物或可剥落涂层清除干净。

6.3.2 保护装置和包装的检查

应定期检查保护措施（包装、堵头），特别是在运输中的装、卸之后，但不必系统地检查。

应经常检查贮存系统的湿度指示卡或相对湿度、气膜压力和干燥状况。

如果发现清洁状态恶化，且该恶化足以影响已获得的清洁度（特别是有产生腐蚀的危险时），应按照 6.1 的要求进行检查和清洁操作，其后应恢复防护或包装。

6.4 清洁检查报告

每个设备或系统清洁后都应编制清洁检查报告，记录进行的清洁检查及结果。

7 防污染

7.1 概述

从设备清洁及其后各阶段的操作（进一步的制造、防护、运输、建造现场安装等）应满足本章的要求。

在某些情况下，特别是耐腐蚀表面，当清洁前的任何制造阶段造成的污染不能由后续的操作消除时，制造商应采取措施避免此类污染。

污染指设备表面接触到 7.3 中所列的任何一种成分。

7.2 材料要求

根据设计准则确定材料牌号，并考虑尺寸大小、加工制造（可焊性）和使用条件（腐蚀、辐射等）。

在化学分析时，除规定元素外，应对试样补充分析以下残余元素的含量，以确保其含量对所接触的介质不会产生潜在的污染。补充分析的残余元素包括：

- a) 与反应堆冷却剂接触的材料残余元素：铅、汞、硫、磷、镉、锌、锡、锑、铋、砷、铜、稀土元素（铈、镧）；
- b) 与二回路系统介质接触的材料残余元素：低熔点元素及其化合物，特别是铅、汞、砷、硫。

7.3 防污染要求

7.3.1 与一回路或注入到一回路的流体接触的设备

严禁由铁素体钢和下列物品或元素所造成的污染：

- a) 可释放出氯化物或氟化物的物品；
- b) 含氯 2.5g/kg 以上的材料，这一规定尤其适用于下列塑料：
 - 1) 氯丁二烯；
 - 2) 氯化聚乙烯；
 - 3) 氯丁橡胶；
 - 4) 聚氯乙烯（PVC）及其共聚物；
 - 5) 橡胶石棉。
- c) 含卤素 25mg/kg 以上的水（除非本标准中有更严格要求）；
- d) 硫及硫化物；
- e) 易分解出铅、汞、磷、锌、镉、锡、铈、铋、砷、铜及稀土元素（铈、镧等）的物品（尤其是低熔点元素及其化合物）；
- f) 不可溶的标记制品；
- g) 在焊接或热处理过程中，容易在材料上形成合金和沉积物的物品。

7.3.2 以二回路的水和蒸汽（再循环流体除外）作为工作流体的清洁等级为 B 级的设备

设备在车间清洁到最终清洁度后，不应使用含有下列化学元素和化合物的物品和工具与清洁表面目接触：

- a) 氯、氟、铅、汞、硫、砷；
- b) 亚硝酸盐；
- c) 铬酸盐和磷酸盐（仅对蒸汽发生器二次侧部分而言）。

最终清洁后可能要用的防护制品，同样不应使用以上述化学元素为基本成分的制品。

7.3.3 使用含有害化学元素物品的要求

7.3.3.1 含氯和氟的溶剂

含氯和/或氟的溶剂可在下列条件用于非奥氏体材料的汽相除油：

- a) 设备上没有难以接触到的孔洞；
- b) 溶剂稳定化处理以避免冷凝蒸汽的酸化。

7.3.3.2 胶带和可剥落涂层

用于奥氏体不锈钢和镍基合金设备的胶带和可剥落涂层应符合下列要求：

- a) 卤素或硫含量小于 1g/kg；
- b) 氯化物和氟化物的溶解过滤分离量分别小于 15mg/kg 和 10mg/kg。

该项规定适用于作标记和各种附件（包装、堵头、保温材料、射线胶片等）使用的胶带。

在使工件表面变成不可达的任何制造、检查和操作之前，以及在升高设备温度的任何操作之前， α 从工件表面将胶带、粘性残留物和可剥落涂层清除干净。

7.3.3.3 液体渗透检测用品

用于奥氏体不锈钢或镍基合金设备表面的液体渗透检测用品中：

- a) 氯化物及氟化物总和的最大允许含量应为 200mg/kg；
- b) 硫的最大允许含量应为 200mg/kg。

7.3.3.4 包装材料

奥氏体不锈钢和镍基合金设备表面用的包装材料（塑料罩、堵头等），应满足下列要求：

- a) 卤素或硫的含量小于 1g/kg；
- b) 通过浸滤，释放的氯化物和氟化物的含量均少于 50mg/kg。

7.3.3.5 非金属保温材料

该材料应符合附录 B 的要求。

7.3.3.6 机械润滑剂

用于奥氏体不锈钢和镍基合金表面的机械润滑剂：

- a) 氯化物及氟化物总和的最大允许含量应为 200mg/kg；
- b) 硫的最大允许含量应为 200mg/kg。

7.3.3.7 用于保护焊缝背面的可溶性纸塞

可溶性纸塞的卤素或硫的含量应少于 1g/kg。

7.3.3.8 用于保护焊缝背面的临时堵塞

用于不锈钢或镍基合金的堵塞应满足下列要求之一：

- a) 卤素或硫的含量小于 1g/kg；
- b) 通过浸滤，释放的氯化物和氟化物的含量均少于 50mg/kg。测量方法见附录 C。

7.4 制造和现场安装的防污染措施

7.4.1 奥氏体不锈钢和镍基合金设备

7.4.1.1 工具

工具防污染的预防措施为：

- a) 切割工具：宜采用碳化钨工具；
- b) 手工装配工具：宜采用不锈钢或铬钒钢工具；
- c) 刷子：应由不锈钢或尼龙制成，并专用于刷洗奥氏体不锈钢和镍基合金；
- d) 砂轮：使用铝基无铁砂轮，并且专用于磨削奥氏体不锈钢和镍基合金；
- e) 工件弯曲和冲压所使用的工具、设备应满足以下要求：
 - 1) 用于设备成形的工具应经清洁和除油，且不含铁素体钢；
 - 2) 热成形时，工件应在燃油炉（低硫油）、电炉或燃气炉内中性气氛或氧化气氛下进行加热；不得使用燃煤炉和高碳火焰加热炉；工件加热前应除油，加热时不得与火焰直接接触；
 - 3) 工件应尽可能避免与碳钢件接触；
 - 4) 工件使用的润滑剂和洗涤剂应满足 7.3.3.6 的要求。

7.4.1.2 装卸和安装

不得与铁素体钢制造的起重和装卸设备接触。

7.4.1.3 喷射清理

喷射清理应满足以下要求：

- a) 宜选用氧化锆砂或氧化铝砂，使用石英砂喷射时，操作后工件应采用氟硝酸进行酸洗；
- b) 砂石中不得含铁。在使用前该砂石不得用于清理铸铁、碳钢或低合金钢工件表面；

- c) 喷丸时应用高合金钢丸；
- d) 工件表面清理后应除尘。

7.4.1.4 机械润滑

对于清洁等级为 A 级和 B 级的设备，使用的所有润滑剂应符合本章要求。在设备表面清洁等级、可达之前，应将该表面上的润滑剂完全清除。

7.4.2 水质

清洁用水的水质应符合表3的要求。

表3 水质要求

项目	级别			淡水
	A ¹⁾	B	C	
氯离子最大含量 (mg/kg)	0.15	1.0	25	100
氟离子最大含量 (wt%)	0.15	0.15	2.0	5
电导率 (μS/cm, 25℃时)	2.0	20	400	-
固体总量最大 (mg/kg)	-	-	-	500
悬浮固体最大含量 (mg/kg)	0.1	-	-	-
SiO ₂ 最大含量 (mg/kg)	0.1	0.1	-	-
pH (25℃时)	6.0~8.0	6.0~8.0 ²⁾	6.0~8.0	5.5~8.0
浊度	无浑浊物、油污和沉淀物			

¹⁾ 反应堆冷却剂补充水质要求应符合 A 级水的规定。

²⁾ 仅因空气中的二氧化碳溶入水导致 pH 降低时, pH 才允许低至 5.5。

7.4.3 干燥空气

清洁操作要求采用的空气应干燥、无油，20℃时压缩空气的相对湿度应小于50%。

压缩空气的供给装置应包括：

- a) 必要的干燥设备（例如：压缩机下游冷凝装置；可能时在低位装设分离器自动排除冷凝水等）；
- b) 除油设备（过滤器、必要的分离器等）。

8 清洁方法

8.1 机械清理

8.1.1 机械去除氧化皮

敏化的奥氏体不锈钢和淬火-回火的马氏体不锈钢工件应采用磨削、喷射或强力刷除等机械方法去除氧化皮。

8.1.2 机械清理方法

8.1.2.1 磨削、刷除

奥氏体不锈钢和镍基合金工件的磨削和刷除应符合7.4.1的要求，磨削时应避免工件局部过热。

8.1.2.2 喷射清理

油漆前工件表面的准备应满足以下要求：

- a) 建议在温度高于 5℃、相对湿度低于 80%的环境中，并且使用干磨料进行喷射处理。喷射处理后应使用无油的压缩空气（见 7.4.3）或刷子仔细地清除所有残留颗粒。

注：在热带气候环境下，喷涂如果在表面处理后的 4h 内进行，则相对湿度可增至 85%。

- b) 允许使用的磨料包括：

- 1) 无渣砂（硅含量低于 3%）；
- 2) 钢丸；
- 3) 玻璃珠；
- 4) 轧碎的金刚砂。

- c) 应根据工件最终表面要求选择磨料颗粒度。

奥氏体不锈钢和镍基合金工件的清理应满足 7.4.1 的要求。

对于板材厚度 $e < 3$ mm 的板材应采用小于 0.32 mm 的砂粒进行喷砂处理；对于 $3\text{mm} \leq e < 5$ mm 的板材，如果板材最大自由长度不超过其厚度的 100 倍，则可以进行喷射清理。

8.1.2.3 超声波清洁

超声波可用于清洗小型零件，并可辅以溶剂和洗涤剂。

8.2 化学清洁

8.2.1 化学清洁包括除油、除氧化皮、去污染、酸洗、漂洗等操作，要求如下：

- a) 下列零件不得进行酸洗：

- 1) 淬硬钢或渗氮奥氏体不锈钢零件或调质处理的马氏体钢制造的零件（除非 8.2.3 列项 b）另有规定）；
- 2) 耐磨堆焊的零件；
- 3) 不满足晶间腐蚀试验要求的奥氏体不锈钢零件；
- 4) 带孔洞或有不可接近区域的零件（如必须酸洗，则应在除油后、清洗前浸于水中，以避免酸洗液呈浓缩形式存在）。

- b) 需保护的零部件表面（如经抛光或研磨后的表面）应防止任何碰撞；

- c) 槽内溶液应以搅拌器搅动混合，并应采取辅助措施，确保不易接近区域的溶液循环；

- d) 应遵守供货商针对产品所制定的使用说明（例如：pH 值、时间、温度等）；

- e) 零部件经化学清洗后均应用清水冲洗。通过测定洗涤后水的 pH 值，检查酸洗剂是否已完全清除。用磷酸基制品清洗过的碳钢零件，清洗后应进行冲洗。

8.2.2 除油操作应满足以下要求：

- a) 不得使用氢氧化钠或氢氧化钾制品除油。但溶液不易滞留的零件表面以及酸洗和冲洗后立即投入运行的设备表面，除油时允许使用钠基或钾基制品。
- b) 零件耐腐蚀表面和清洁度等级为 A 级和 B 级的设备表面，不得使用含卤素制品（包括汽相）除油。含氯溶剂汽相去除油脂应满足 7.3.3.1 的要求。
- c) 容易滞留溶液的零件表面（特别是在有局部装配件的设备），或除油后不作酸洗的设备表面，不应使用碳酸钠或碳酸钾除油。
- d) 有孔洞的零件表面应采用异丙醇、再蒸馏乙醇、丙酮或证明对该表面无害的其它制品除油。

- e) 零件采用碱性溶液或洗涤剂除油时，应随后用清水（若用磷酸三钠除油，使用不低于 60℃ 的热水）进行冲洗并干燥。但是，对于非抗腐蚀表面，当使用能暂时起保护作用的制品除油时，允许除油后不在车间里进行冲洗。
- f) 对于因使用脂肪烃之类有机溶剂在零件表面产生残留薄膜时，应使用异丙醇、乙醇或丙酮予以清除。

8.2.3 除氧化皮、酸洗、去污染和钝化应满足以下要求：

- a) 基本要求：
 - 1) 所有的化学清洁后，零件均应按照 8.3 的要求用清水洗涤，尤其是用磷酸基产品清洁过的碳钢工件，清洁后应及时冲洗；
 - 2) 唯一许可使用的卤素化合物为氢氟酸；
 - 3) 酸洗设备应安置在与制造场所隔开的清洁地区；
 - 4) 如果设备喷淋或浸泡在技术上有困难时，允许使用酸洗钝化膏进行酸洗和钝化；使用酸洗钝化膏后，设备表面应仔细地冲洗。通过检查洗涤后的 pH 值，来证明酸洗钝化膏已完全清除。
- b) 不锈钢工件：
 - 1) 奥氏体钢工件去除氧化皮：可使用硫酸或氟硝酸溶液。当氧化皮致密时，可分两步进行：先用硫酸溶液腐蚀加洗涤，然后以氟硝酸溶液腐蚀加洗涤。
 - 2) 清洗：奥氏体钢工件应用氟硝酸溶液或稀硝酸溶液酸洗（该处理仅适用于经退火处理而未经过冷处理的固溶产品）。在可实施连续检查的酸洗条件下，允许使用经过氧化水处理的氢氟酸和/或硫酸。稀硝酸酸洗（氟硝酸效率更高）用于消除可溶性盐、腐蚀产物和表面的金属污染物。
 - 3) 马氏体钢工件酸洗：用磷酸或硝酸溶液进行酸洗，不应使用氟硝酸溶液。
 - 4) 去污染、钝化：可采用化学处理用于设备去污和钝化表面，可用硝酸（或等价于硝酸溶液或钝化膏进行处理。
- c) 碳钢工件：
 - 1) 除锈-酸洗，设备除锈或酸洗应采用缓蚀的有机酸（螯合物或非螯合物）或无机酸。
 - 2) 防护，清洗后设备表面应以下列方法保养：
 - ◆ 进行干法或湿法保养（见第 9 章）；
 - ◆ 作表面处理或使用涂覆层（在设备灌充工作流体之前用处理过的水去除与工作流体不相容的物质）。

表4对不锈钢钝化工艺进行了举例说明。

表4 不锈钢钝化工艺

项目	溶液 A	溶液 B	
适用范围	适用于奥氏体钢和铬含量大于 17% 的不锈钢	适用于抛光表面和铬含量小于 17% 的不锈钢	
硝酸 (70% HNO ₃)	10% (V/V) ~ 20% (V/V)	20% (V/V) ~ 30% (V/V)	
重铬酸钠 (Na ₂ Cr ₂ O ₇ ·2H ₂ O)	—	2% (wt/%)	
水	其余部分	其余部分	
温度	20℃ ~ 50℃	20℃ ~ 50℃	
浸泡时间	10 min ~ 30 min	10 min ~ 30 min	

8.3 洗涤和干燥

8.3.1 洗涤

8.3.1.1 在车间内化学清洁后的洗涤

部件宜采用流动的水进行洗涤。可在水中加入中和溶液进行中间洗涤以加速洗涤作用。

不锈钢设备的最终洗涤应使用A级或B级水，非抗腐蚀钢的设备最终洗涤应使用A级、B级或C级水。当洗涤后的水的pH值已稳定并且在水质允许范围内时，洗涤即告完成。

当有特别要求时，设备可在现场进行最终的清洗。

8.3.1.2 现场安装期间和安装后的洗涤

8.3.1.2.1 洗涤水

A级和B级清洁度设备的冲洗用水应符合表5的要求。

在制取符合A级水要求的水困难情况下，如果最终洗涤使用A级除盐水的话，在此之前允许使用中性水。如果使用这样的中间洗涤，应特别仔细干燥以防止有害物质进入复杂形状区。

表5 A级除盐水要求

设备耐腐蚀表面	设备非耐腐蚀表面
A级除盐水	1类水：用200mg/kg联氨处理过的A级除盐水，加氨（约0.01%）使pH值达到10.5。
	2类水：加氨或吗啉使pH值达到9的A级除盐水。
	3类水：加磷酸三钠使pH值达到10.5的A级除盐水（不适用于蒸汽发生器的二次侧部分）。

设备非耐腐蚀表面洗涤用水的规定如下：

- 1类水：设备不含铜基合金时，作为湿法保养用的洗涤水；
- 2类水：仅作设备洗涤用的水（湿法保养时仍用1类水）；
- 3类水：在水洗涤后即排掉和设备不立即贮存时使用（磷酸三钠提供临时防护时）。

8.3.1.2.2 操作规程

可以采用以下方法进行洗涤：

- “直流水”冲洗；
- 在系统上装有过滤器（网眼30目~50目）的“循环”水冲洗。

最终洗涤后，立即检查最终洗涤用水的pH值和电导率，以保证符合洗涤用水的要求。

在工作流体灌入系统之前，取A级设备的最后洗涤用水1000 cm³作水样，倒入一个盛有10 cm³硝酸（浓度70%，密度为1.42 g/cm³，分析纯）的聚乙烯瓶中，瓶口应密闭并做标记。应将水样保留到调试结束，以供可能进行的分析使用。

8.3.2 干燥

可用下列方法进行干燥：

- 用清洁的拭布揩干；
- 自然挥发；
- 热空气吹干：空气应干燥、无油（按7.4.3的规定），温度为60℃~80℃（可用氮气、二氧化碳、氩气或氦气代替空气）；

- d) 真空中加热:
 - 1) 此方法仅用于能承受外压的设备;
 - 2) 当不使用真空泵时, 真空 ($\approx 133\text{Pa}$) 保持 30min, 即认为干燥已完成。
- e) 在加热炉或烘箱中干燥:
 - 1) 炉气氛为惰性气体;
 - 2) 在加热炉熄炉后, 当气体露点低于 -40°C 时, 即认为已完成干燥。

9 清洁度的保持

9.1 试验用水水质

在部件试验 (验收或功能试验、水力和水压试验等) 时, 或在部件已清洁后的湿保养 (见 9.2.1.2 和 9.6 a) 的第 2) 项) 的某些情况下, 所用水的水质应符合表 6 的要求。

当要求的清洁度在下一阶段中可恢复时, 车间试验时可以使用比要求低一级的水质 (例如: 以 B 级水代替 A 级水, 淡水代替 C 级水)。在此情况下, 试验末期应特别注意进行干燥, 以防止积水留存 (特别是在凹坑区内)。

表6 试验和湿保养用水的特性

设备表面	试验用水	使用场合	补充规定
耐腐蚀	A 级、B 级、C 级	不含敏化奥氏体不锈钢零件的设备	<ul style="list-style-type: none">— 水样分析— 以下情况必须使用 A 级水:<ul style="list-style-type: none">• 带孔洞的设备• 试验温度大于 60°C 的设备 (此种情况下, 加入 0.02% 的联氨, 铝或铜基合金的设备除外)— 当使用 C 级水时, 最终洗涤至少使用 B 级水 (最好是 A 级水)
耐腐蚀	A 级+氨水 (pH 保持在 10.00~10.50)	含敏化奥氏体不锈钢零件的设备	<ul style="list-style-type: none">— 水样分析— 水温大于 60°C 时, 加入 0.02% 的联氨 (含铝或铜基合金的设备除外)
非耐腐蚀	车间内 A 级、B 级或 C 级; 现场 A 级或 B 级+联氨 (0.02%) +氨水 (设备无铜基合金时)	所有的设备	<ul style="list-style-type: none">— pH ≈ 10.5— 操作后进行干燥— 按 9.2 的规定进行贮存
非耐腐蚀	A 级或 B 级+磷酸三钠	工作流体通常经磷酸三钠处理的设备	<ul style="list-style-type: none">— pH ≈ 10.5— 操作后进行干燥— 按 9.2 的规定进行保养

注: 应在试验前 24 小时内进行验证。然而, 在满足下列附加要求的情况下, 验证可在 24 小时后进行, 但不得超过一个星期: 水生产设备必须安装电导率仪表; 试验用水电导率测量值满足试验用水级别要求。

9.2 防护和保养

9.2.1 基本要求

制造完工时,已清洁的设备应按 9.2.2 的规定进行防护,并按照符合下列准则的一种方法进行保养:

- a) 与工作流体接触的容器(储罐、热交换器等)的非耐腐蚀表面的清洁度,应按 9.2.3 进行保养。清洁等级为 A 级的设备, B 级的容器和给水/蒸汽管道从清洁工作开始,直至首次灌充工作流体,应持续保养。

如果在设备上进行操作而破坏防护屏障时,在工作结束时应恢复屏障。

- b) 所有包装和保养操作均应符合 7.3.3 有关防污染的要求。

9.2.2 防护

已清洁的设备可作整体包装或堵塞所有开孔的方法加以防护:

- a) 工作区的要求也适用于包装工作。
- b) 用来包装零件的塑料膜应具有以下特性:
 - 1) 防水、防蒸汽;
 - 2) 可热密合;
 - 3) 耐撕扯和穿孔;
 - 4) 用于耐腐蚀表面防护时应符合 7.3.3 的要求。
- c) 清洁等级为 A21 级和 A22 级的设备应用防水防尘罩包装好,并置于集装箱或货箱内。如果罩内可能存在危害设备的凝结水时,应在罩中放置干燥剂。干燥剂应符合 9.2.4.1 规定。
- d) 清洁等级为 A 级和 B 级的设备开孔,应使用盖子或塞子等封住,塞子的固定不得使用钎焊。如果符合 NB/T 20002.6 中的相关要求或将来去掉塞子时能将焊缝以及整个热影响区也一同去除掉,则允许用焊接固定。
- e) 塞子或盖子的材料既可采用与被保护材料匹配的金属,也可用符合 7.3 要求的非金属。

9.2.3 保养

9.2.3.1 干保养

容器、储罐、热交换器应采用干保养。干燥后按以下要求进行:

- a) 设备中充入干燥、纯净、不含卤素的惰性气体,其露点 $<-40^{\circ}\text{C}$,压力高于大气压力;
- b) 充入干燥、无油的空气(见 7.4.3);
- c) 小容积的密封容器使用干燥剂和湿度指示卡(按 9.2.4),使相对湿度保持在 $<50\%$ 。

设备上应固定一个标牌,注明保养类型(使用的气体)及气体压力和要求的相对湿度。

9.2.3.2 湿保养

湿保养用于设备或系统初次注入工作流体后不立即投入运行的场合(例如,功能试验之后或规定性水压试验之前)及现场清洁后不作冷态功能试验或运行试验的设备。

应采用下列的一种流体作湿保养:

- a) 该系统的工作流体;
- b) 相当于该系统补充水纯度的水;
- c) 按承包商批准的方法作过化学处理的水。

9.2.3.3 临时保养

以防护性包覆和表面处理(如钝化剂、可剥落涂层等)的方法进行临时保养。

对所使用物品的要求如下:

- a) 应符合第 7 章的要求,并应取得承包商批准;

b) 在系统投入运行前应全部消除。

设备的包装上（可能时还应在运输单据上）应注明所使用的每种制品的名称和清除细则。

9.2.4 干燥剂和湿度指示卡的要求

9.2.4.1 干燥剂

干燥剂应由不潮解、无尘、无卤素、惰性化学特性的制剂组成。

干燥剂采用袋包装，包装袋材料应符合7.3的要求。

干燥剂不得直接放置在被保护表面上，应根据设备的容积（其中包括：包装、衬垫材料）放置足够数量的干燥剂。

9.2.4.2 湿度指示卡

湿度指示卡不得紧靠干燥剂。湿度指示卡的封装应透明以保证阅读。

9.3 存放要求

9.3.1 在车间或建造现场的存放

9.3.1.1 设备

在存放不锈钢设备时应采取措施以保证其不接触碳钢或污染物（按7.3的规定）。

9.3.1.2 防护

除了进行检查以外，保护或保养的设备应保持此状态至存贮期结束（尤其是所有盖子和塞子都应保持就位）。如进行检查，则检查后应恢复设备的包装或防护。

9.3.2 存放区

9.3.2.1 概述

存放区是指设备周围的区域。

存放区的概念并不意味着在每个单独设备的周围建立一个专用区。当设备表面能方便地与环境隔离时，存放区可由设备本身构成。

存放区按要求的严格程度依次递减的顺序分为Ⅰ级、Ⅱ级、Ⅲ级。

9.3.2.2 Ⅰ级存放区

Ⅰ级存放区由不受环境影响的封闭间组成，其地面铺敷地板或不产生尘土的致密材料。

封闭间温度应维持在16℃以上，以限制其内部的湿气凝结。

设备应放置于底座（货架或垫板）上。

封闭间应定期清扫垃圾和除尘。

9.3.2.3 Ⅱ级存放区

Ⅱ级存放区由一个不受环境影响的封闭间组成，地面铺敷地板或不产生尘土的致密材料。

设备应放置于底座（货架或垫板）上。

封闭间应定期清扫垃圾和除尘。

9.3.2.4 Ⅲ级存放区

设备应在室外存放。

存放区应排水良好，铺细石或混凝土板。

设备应放置于货架和垫板上。

存放区应定期清扫垃圾

9.3.3 各清洁等级所要求的存放区

清洁等级为 A21 级的设备，要求 I 级存放区。

清洁等级为 A1 级、A22 级、A23 和 B 级的设备以及清洁等级为 C 级的阀门与泵，要求 II 级存放区，但下列情况例外：

- a) 如当地条件允许（例如无盐雾腐蚀环境），密封直径 $>25\text{ mm}$ 的管件可存放在 III 级存放区。
- b) 按 9.2.3 的要求作过保养的设备，外表面经适当防护，可存放在 III 级存放区。

清洁等级为 C 级的其它设备，要求 III 级存放区。

9.3.4 设备在工作地带的存放

设备置放于货架或垫板上：

- a) 如果温度能保持在 16°C 以上，I 级工作地带可作为 I 级存放区。
- b) II 级或 III 级工作地带可作为 II 级存放区。
- c) III 级工作地带可作为 III 级存放区。

9.4 运输

9.4.1 当设备可露天放置而无持续的损害时，可用敞篷运输设备。

9.4.2 运输与装卸的要求如下：

- a) 应满足 7.3 有关防止污染的要求。
- b) 采用敞篷运输设备时，应采用防雨篷适当防护，防雨篷布的设置应保证空气循环以防止凝结水。此要求应仅适用于涂漆的容器和箱罐与环境介质接触可能会削弱油漆的防护作用的情况。

9.4.3 设备海上运输要求如下：

- a) 除非由于设备尺寸的需要或设备已置于密封集装箱中，否则应避免将设备放在甲板上运输。
- b) 设备在运输过程中外表面无抵抗盐雾气氛的防水包装时，应在到达后立即进行设备外表面的清洁度检查。如有必要，在安装前应以流动水仔细冲洗设备，特别要去除残余的氯化物。但只有在保证水不会渗入部件时才能冲洗。

当运输后设备必须贮存时，在进入工作区之前，应按照其清洁度等级实施 9.3.3 中规定的贮存区的要求。如果设备计划在室外（特别是在海边现场）长期贮存而无防水防护措施时，如有必要，在设备转到遮盖或即将有遮盖的条件下贮存时，应立即恢复之前车间所达到的清洁度。

9.5 现场的最终安装

9.5.1 现场安装要求如下：

- a) 尽可能将设备运到最终安装地点并按 9.2 的规定对设备作防护和保养；
- b) 除因工作操作需要之外，通常情况下，开口均应堵住；
- c) 检查完成后，应按 9.2.3 要求恢复设备的原保养状态；

- d) 零件不立即焊接时, 焊接坡口应采用不含卤素的塑料薄膜(材料要求见 7.3)封口或其它可靠的方式(堵板、堵塞)予以保护, 防止设备内部积累灰尘及异物进入;
- e) 当操作可能导致 A 级或 B 级清洁度设备受固体颗粒或尘埃污染时, 应采取措施(加塞子、用真空装备等)限制污染的风险。特别对由于在设备内侧焊接操作所产生的固体颗粒, 在焊接完工后应消除干净;
- f) 操作前后, 当日视检查不足以确认没有工具遗留在内时, 应按带进设备或系统内的工具清单清点所带进的工具有。

9.5.2 建造现场清洁工作要求如下:

- a) 按 6.1 规定进行水质试验的管道和设备应连续冲洗到水质已满足相关的准则为止。
- b) 清洁度等级为 A 级和 B 类的设备可仅用下列方法之一进行清理或清洁:
 - 1) 机械法(磨削和刷擦);
 - 2) 用不含卤素的纯净挥发性溶剂(乙醇或异丙醇、丙酮、甲基丙酮、乙基丙酮);
 - 3) 用 A 级水或按照 8.3.1.2.1 的要求处理过的水。
- c) 在特殊情况下, 喷射清理或酸洗可用于建造现场, 同时应出具技术证明书。
- d) 高压冲洗应满足以下要求:
 - 1) 高压清洗只能用于公称直径大于 75 mm 的管道;
 - 2) 高压冲洗所用的设备不应污染待清洗的零件。
- e) 循环冲洗应分两阶段进行:
 - 1) 安装阶段: 用水或清洁、干燥、无油的压缩空气冲洗;
 - 2) 完成安装后: 用循环水冲洗; 应在系统过滤器中安装滤芯, 并在泵吸入管内安装保护滤网。
- f) 进行高压冲洗或循环冲洗时, 需确定每项清洗操作的下列内容:
 - 1) 应清洗系统的部位;
 - 2) 不应启动的系统装置;
 - 3) 应拆除或隔离的设备;
 - 4) 应安装的临时性防护网和过滤器。

9.6 安装后清洁的保持

下述要求适用于待检验或待启动的设备:

- a) 在建造现场清洁的设备:
 - 1) 接触工作流体的非耐腐蚀表面应按 9.2.3 规定的方式之一进行保养, 直至设备调试或投运。
 - 2) 耐腐蚀表面应采取下列措施:
 - ◆ 适当地加以防护, 并与外界环境隔绝, 以保持清洁度直到投运开始;
 - ◆ 或者按 9.2.3.2 的规定作湿保养。
 在后一种情况下, 湿保养使用的流体可以是:
 - ◆ 工作流体;
 - ◆ 符合 9.1 规定水质的水;
 - ◆ 与回路补充水纯度相当的水。
 - 3) 在相关冷态或功能试验前应通过冲洗将残余清洗溶液或保养用的化学药品从回路中排出, 直到系统排出的水满足冷态试验的水质要求为止。
- b) 其它设备: 在安装现场不进行任何清洁的设备, 可以按照第 7 章和 9.5.1 的要求保持在制造车间所得到的清洁度。

附 录 A
(规范性附录)
清洁度的检查和验收准则

A.1 概述

表 2 和表 3 所列的 A、B 和 D 检查均以随机抽样进行。优先对工件存疑部位进行检查。

A.2 可见表面的检查

A.2.1 目视检查

A.2.1.1 检查方法

目视检查方法包括 A 检查、Aa 检查和 Ab 检查：

- a) A 检查：在不引起操作者目眩的前提下，应在至少等于 500lux 的照度下（相当于距离 100W 灯泡 30cm 的亮度）对工件表面作目视检验。
- b) Aa 检查：紫外光下对工件进行目视检验（辐照线波长在 3500Å 和 4000Å 之间）显示有无油迹（显示界限值： $4 \times 10^{-6} \text{g/cm}^2$ 油）。
- c) Ab 检查：使用 5 倍放大镜对工件进行目视检验。

A.2.1.2 验收准则

目视检查方法的验收准则为：

- a) 准则 1：
工件表面无腐蚀物 and 任何异物。
- b) 准则 2：
工件金属应是干净的。允许存在因焊接、热处理等工艺产生的极薄氧化膜（用干涉色探测）。也允许存在由母材或污染物形成的分散的氧化斑点（包括表面锈斑）；但斑点的累计面积应不超过总面积的 0.1%。
- c) 准则 3：
同准则 2，但氧化斑点累计面积不超过金属总面积的 1%。
- d) 准则 4：
工件金属应无杂物。允许金属表面附着有因短时间暴露于大气中而形成的连续氧化薄膜。
 - 1) 不锈钢工件表面：允许存在表面锈斑，但其累计面积应小于总面积的 1%。
 - 2) 碳钢工件表面：允许存在局部或整体的均匀薄膜锈蚀。
- e) 准则 5：
 - 1) 碳钢工件表面允许存在牢固附着的轧制皮、以及冷水冲洗不掉的油漆标记。
 - 2) 碳钢和不锈钢工件允许存在无法用鬃刷刷掉的锈蚀膜。

注：按照准则 2~准则 4 执行检查时，不需要测定锈斑的精确百分比，只需在检查报告（按照 6.4 的要求）中注明结果符合试验准则即可。

A.2.2 白布检查

A.2.2.1 检查方法

白布检查为B检查。

用非合成织物制成的白色、干净且不起毛的拭布擦拭工件的可疑部位。

如果24h后再擦拭，结果应一致。

如有要求时，可用蘸丙酮的拭布进行此项检查。

A.2.2.2 验收准则

白布检查方法的验收准则为：

a) 准则6：

拭布应保持清洁，无锈斑视为合格。

b) 准则7：

擦拭后拭布允许存在金属表面锈蚀的色斑，但不允许有油和异物所造成的色斑。

A.2.3 表面钝化检查

A.2.3.1 检查方法

表面钝化检查方法用来检测不锈钢和高镍合金工件表面上是否存在铁和氧化铁。

铁素体钢对奥氏体不锈钢工件的污染可能是浅表性的或镶嵌型的。

表面钝化检查方法包括D检查和Da检查。

A.2.3.1.1 D检查方法

D检查方法的操作规程为：

- a) 以浸水或灌水的方式，使被检件表面与除盐水（或低矿物质含量的水）接触12h，用干净、无油的压缩空气连续鼓泡，使水具有氧化性。

注：在无法浸水或灌水的场合，应在12h内每隔一小时用冷水喷洒工件，其间不得干燥（如喷洒的水滴很细能附在工件上不流走时，可将总的喷洒时间减到6h）。

- b) 工件在空气中暴露至少24h后进行目视检验，有疑问时使用5倍放大镜。

A.2.3.1.2 Da检查方法

当D检查结果有疑问时，或者铁素体污染特别严重时，则进行Da检查，该检查仅用于局部检查。

Da检查方法的操作规程为：

- a) 配置检查溶液（使用玻璃或塑料刮勺施加）：

- 1) 蒸馏水：1000mL；
- 2) HNO_3 （65%）：20mL；
- 3) 铁氰化钾：30g。

- b) 在零件上施用这种溶液15s后，如显示蓝色则表示存在铁素体污染。

- c) 用20%醋酸溶液对工件表面进行处理后，立即冲洗整个表面，然后再用蒸馏水冲洗数次。

A.2.3.2 验收准则

表面钝化检查方法的验收准则为：

a) 准则8：

试验的工件表面上不得有浅表性的铁素体钢污染¹⁾或铁素体镶嵌物²⁾。

b) 准则9：

允许存在浅表性的铁素体钢污染，但不允许有镶嵌物。

注1：没有任何污染物渗入金属基体时，称之为浅表性污染。

注2：出现下列一种或几种迹象，即表明存在铁素体镶嵌物：

- 有可见孔穴的蚀坑；
- 在蚀坑（可能不可见）周围的环形区聚集着腐蚀物，而这种腐蚀物的堆积厚度通常比附近其它氧化物的厚度厚许多；
- 蚀坑中心周围存在斑渍圈。

A.3 不可见表面的检查

A.3.1 通塞检查

A.3.1.1 检查方法

检查方法用于评价热交换器传热管内表面的清洁状况，包括 E 检查和 Ea 检查：

——E 检查：与白布检查相同，但用纯净、干燥、无油的空气推动棉花塞通过管子以代替白布。

——Ea 检查：与 E 检查相同，但棉花塞应浸丙酮。

A.3.1.2 验收准则

验收准则与白布检查方法的验收准则6和准则7相同。

A.3.2 洗涤水检查

A.3.2.1 检查方法

操作规程：见 8.3.1.2.2。

以不小于正常工况下工作流体的速度进行水循环。

从最后冲洗水中取出的水样（至少取 40 L）应经过清洁白棉布过滤。

棉布密度约为 90 g/m^2 ，经纬方向均为 3 孔/mm~4 孔/mm 的网眼，棉布面积为 10 dm^2 。

A.3.2.2 验收准则

洗涤水检查的验收准则为：

a) 准则 10：

- 1) 检查后棉布总的外观应清洁、白色，湿布可有轻微的斑迹（锈迹或灰尘）。
- 2) 检查后棉布上不得有尺寸大于 1.0mm 的微粒，但允许有长度不大于 1.5mm 的极细或毛发状的纱条。
- 3) 检查后棉布上不得有明显的有机杂物或异物（油、砂等）。

b) 准则 11：

与准则 10 的要求相同，但允许滤网上有较多量的锈迹沉淀。

c) 准则 12：

与准则 11 的要求相同，但不得有尺寸大于 1.5mm 的微粒。但允许有长度不大于 3mm 的极细或毛发状的纱条。

附录 B
(规范性附录)
保温材料选择和安装的特殊要求 (防腐鉴定和验收试验)

B.1 概述

保温材料应从以下两类中选取：
——金属材料 (不锈钢带或丝网) ；
——玻璃纤维或石棉制品。

B.2 对非金属保温材料的要求

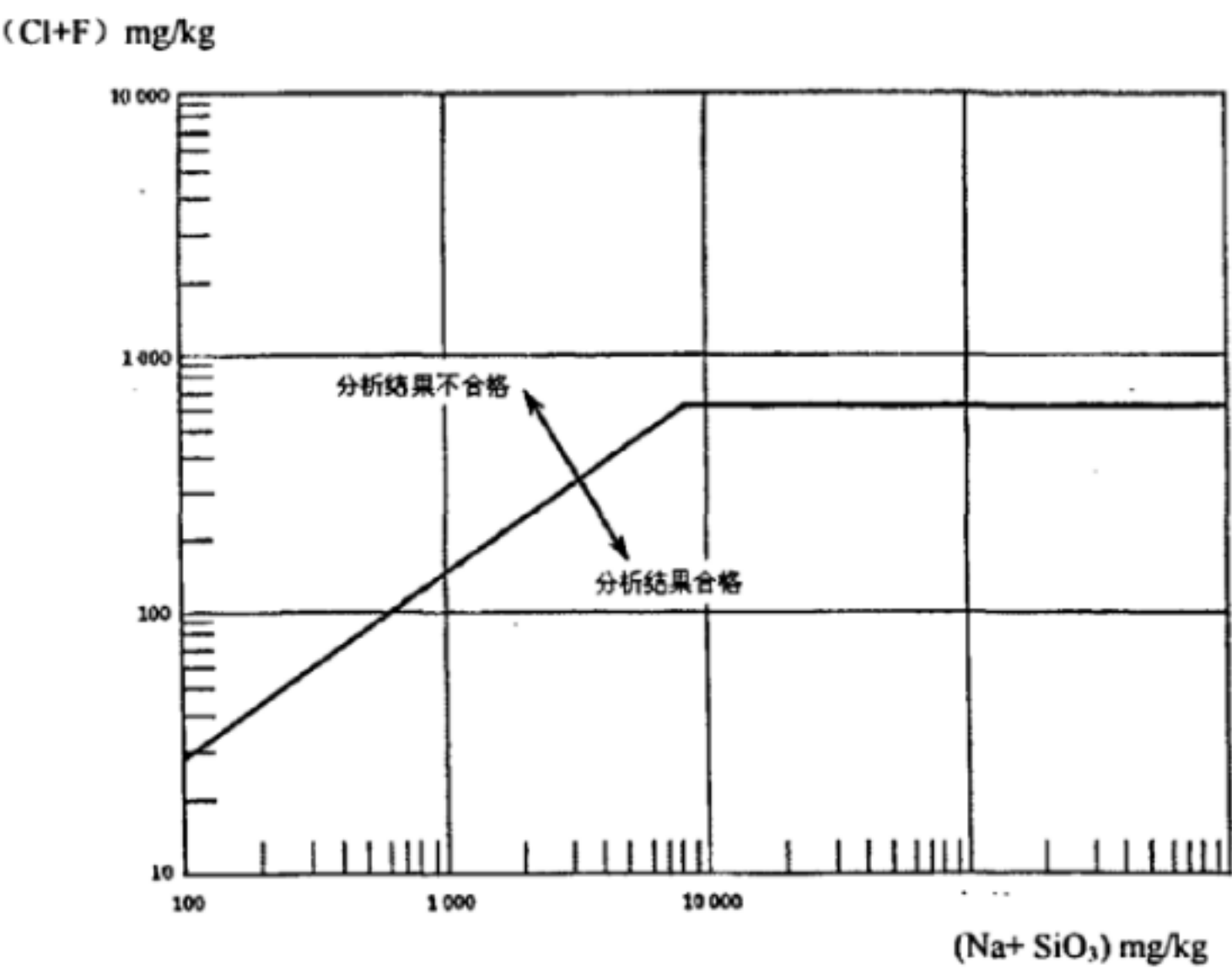
保温材料应满足下列要求：
——耐老化、耐蒸汽、不易发霉；
——耐火。

奥氏体不锈钢设备的保温材料，可析出的氯或氟离子含量不得超过 B.3 和 B.4 中所规定的的限值。
此外，在设备布置上可能造成奥氏体不锈钢设备污染的碳钢设备的保温材料，也应满足同样的要求。

B.3 非金属保温材料的鉴定试验

B.3.1 化学分析

应以水溶液进行分析，目的是确定 Cl^- 、 F^- 、 SiO_3^{2-} 和 Na^+ 的浓度。
图B.1中列出了允许的离子浓度。
分析方法参见GB/T 1549。



图B.1 化学分析合格判定图

B.3.2 保温材料对不锈钢的腐蚀试验

见GB/T 17393。

B.4 非金属保温材料的验收试验

任何一批保温材料都应按照B.3的要求进行验收试验。验收根据B.3.1中规定的化学分析，腐蚀性离子（ Cl^- 、 F^- ）、缓蚀性离子（ SiO_3^{2-} 和 Na^+ ）与鉴定试验中确定值的偏差不得超过50%。

B.5 保温材料的安装要求

位于反应堆安全壳内的设备上所安装的保温材料的金属壳体，应采用不锈钢（奥氏体或铁素体）制造，不得使用铝或铝合金。

其它设备的保温材料金属壳体，应使用下列材料之一制造：

- 不锈钢；
- 铝或铝合金；
- 镀锌钢板。

在奥氏体不锈钢设备上安装的保温层的可拆卸段，与设备接触的所有板材都应采用不锈钢制造。

固定保温材料的非金属材料，应满足B.3.1中规定的化学分析要求。

为避免水渗入保温材料，金属壳体应实现防渗水功能。因此，金属壳体之间的连接处采用滚压波纹槽。

附 录 C
(规范性附录)
确定氯、氟和硫含量的化学分析方法

C.1 通则

C.1.1 范围

本附录包含分析产品中氯、氟和硫含量的化学分析方法，同时这些元素的含量是有限制的，规定的限制含量如下：

- 符合本标准的要求；
 - 涉及使用方法中规定的限制要求。
- C.2中涉及的产品分析方法中的处理方法：
- 对具有高或低的可燃性产品，使用弹式量热器矿物化；
 - 对不可燃产品，使用碱性矿物化；
 - 进行浸滤。

C.3规定的化学分析方法：

- 光谱法分析氯；
- 离子色谱仪分析氯、氟和硫；
- 氯离子的硝酸汞滴定；
- 离子计测定氟；
- 等离子发射光谱分析硫。

产品只允许按照本附录规定的处理方法和分析方法才允许进行氯、氟和硫含量的分析。

C.1.2 总的预防措施

在可能接触或污染被分析的溶液的情况下，任何材料或化学产品（包括水和溶剂）应确保不含氯和硫。

特别对于玻璃器具应使用硝酸清洁，然后用不含氯和硫的除盐水冲洗。

C.1.3 分析报告

该报告应说明：

- 产品的标识（可能时应注明制造批号和包装批号）；
- 产品的说明和包装（气雾剂罐或筒等）；
- 承担分析工作的实验室名称；
- 产品处理方法和被查找的化学元素分析方法。

C.2 产品处理方法

产品的处理应按照以下方法进行：

- 浸滤的处理方法的描述见 C.2.3。
- 当产品不经浸滤处理时，推荐使用以下处理方法：

- a) 可完全燃烧的产品, 可使用弹式量热器矿物化 (见 C. 2. 1);
- b) 不可燃烧的水溶液, 可使用碱性矿物化处理 (见 C. 2. 2. 2. 1);
- c) 可部分燃烧的产品, 使用弹式量热器矿物化处理, 然后再使用碱性矿物化处理 (C. 2. 2. 2. 2);
- d) 不可燃烧的固体或糊状物, 可使用碱性矿物化处理 (C. 2. 2. 2. 3)。

C. 2. 1 使用弹式量热器矿物化分析产品的处理

C. 2. 1. 1 设备

产品的处理应按照以下方法进行:

- 一个弹式量热器, 内部最好用含 10% 铱的铂铱合金覆面, 无铂铱合金时可用不锈钢覆面;
- 一个含 10% 铱的铂铱合金器皿;
- 宜采用铂导线连接电极。

C. 2. 1. 2 操作

操作应按下列程序进行:

- a) 将弹式量热器盖子进行干燥处理;
- b) 用金属导线连接电极, 并系上不含氯、氟和硫的棉导火线;
- c) 将少于 5 mL 的除盐水倒入弹式量热器内;
- d) 根据氯和硫的含量 (采样技术见 C. 2. 1. 3), 精确地称出 0.5 g~1 g 物质置于铂皿中。
- e) 对于可燃性物质 (水溶液、液体洗涤剂), 取 0.2 g~0.5 g 试样, 倒入 1 mL 酒精 (若采用必要的安全保护措施时, 可用丙酮代替酒精);
- f) 将铂皿置于弹式量热器内并拧紧盖子 (盖子最好拧在弹式量热器的容器体上, 以避免物品溅出弹式量热器);
- g) 将弹式量热器浸入水和冰的冷却槽中 45 min;
- h) 缓慢地将氧气压力升高到 2.5 MPa (压力表检测);
- i) 除挥发性产品外 (限于硝酸盐干扰), 否则用氧气排除其它气体;
- j) 点火;
- k) 冷却后, 从冷却槽中取出弹式量热器, 轻缓释放氧气 (通过除盐水起泡控制气体逸出速度, 至少 20 min 排空弹式量热器);
- l) 打开弹式量热器, 用少量除盐水冲洗器壁和电极若干次 (盖子上用“O”形环保护的部分不必冲洗);
- m) 用一个 50 mL 的容量瓶收集含有冷凝物的溶液, 并注入除盐水至满刻度;
- n) 空白试验。

在与使用棉导火线 (必要时加入酒精) 相同条件下进行空白试验。

C. 2. 1. 3 气雾罐产品的取样技术

气雾罐产品包括以下组成:

- 压缩气体 (一般为丁烷);
- 实际活性产品。

取样前, 应摇晃瓶罐, 并排气约 5s。

在称重的同时, 将气雾罐所含物喷射到一个 100 mL 的烧杯中, 然后立即转移至铂皿中。

这个操作应尽量快, 以减少挥发溶剂的损失。从开始取样至关闭弹式量热器的时间不宜超过 2.5min。

C.2.2 使用碱性矿物化分析的产品的处理

C.2.2.1 设备和试剂

设备和试剂包含：

- 纯铂坩埚；
- 氢型阳离子交换柱；
- 可控温度加热炉；
- 过氧化钠（分析纯）；
- 从浓硝酸（分析纯）制取稀硝酸。

C.2.2.2 处理（按照以下次序进行）

C.2.2.2.1 不可燃水溶液处理

不可燃水溶液处理要求如下：

a) 预处理

精确称重 0.5 g~1 g 试样，置于一个铂坩埚内。加入 50 mg 过氧化钠并使用 pH 试纸检查溶液是否属碱性。将铂坩埚置于一温度为 80 °C 的加热炉中。将溶剂成分析出干燥，然后出炉冷却。

b) 二次处理

再在坩埚中加入 1.45 g 过氧化钠，置于室温状态的炉中。

按照 25 °C/min 的升温速率，将炉缓慢加热至 500 °C，保温 20 min。从炉中将坩埚移出、冷却，并通过加入 25 mL 除盐水使之返回至烧结状态。

起泡阶段结束后，将坩埚中的溶液倒入一个 50mL 容量瓶中，并用除盐水加满至 50mL。必要时，使用离心法分离氢氧化物沉淀。

c) 上层清液处理

用事先经硝酸再生的氢型阳离子交换柱树脂处理最大量的上层清液，或者，在没有沉淀的情况下处理所有的上层清液。用一个 100 mL 的容量瓶收集溶液。用除盐水淋洗树脂，并将该淋洗液装入容量瓶中，直到得到 100mL 溶液。

d) 空白试验

在和样品相同的环境下作空白试验，从二次处理开始，注意应用 1.5 g 过氧化钠。

C.2.2.2.2 部分可燃产物的处理

部分可燃产物的处理要求如下：

a) 预处理

使用 C.2.1.1 所示的弹式量热器将样品矿物化处理，并收集铂皿中的未燃烧物。

将弹式量热器中的燃烧残渣研碎，并将研碎的粉末和所有沉淀倒入铂坩锅。

b) 二次处理

按 25 °C/min 的升温速率，缓慢升高熔炉温度至 500 °C，并保持 20 min。从熔炉中移出坩，让坩锅冷却并加 20 mL 除盐水使之返回烧结状态。

起泡阶段结束后，将坩锅中的溶液倒入 50 mL 容量瓶中并添加除盐水至 50 mL，若有必要，离心分离出溶液中的氢氧化物沉淀。

c) 上层清液处理

同 C.2.2.2.1。

d) 空白试验

按与样品相同环境作空白试验。

C.2.2.2.3 不可燃固体和浆料的处理

不可燃固体和浆料的处理要求如下：

a) 预处理

研碎样品，准确称量 0.3g~0.5g 的样品到铂坩锅中，加 1g 过氧化钠并混合，在混合物上盖 0.5g 过氧化钠。

b) 二次处理

同 C.2.2.2.2。

c) 上层清液处理

同 C.2.2.2.1。

d) 空白试验

按与样品相同环境作空白试验。

C.2.3 产品的浸滤处理

戴上手套，取一个 300 cm²~1000 cm² 的样品，将样品切成数厘米大小的碎片。将碎片放入一个 800 mL 烧杯中，烧杯中注入 200 mL 去离子水，在样品加入前后称重。

烧瓶口用透明玻璃盖住并加热到接近沸腾（95℃~100℃）保持约 30 min。

冷却后用 5μm 的过滤器过滤。清洗烧杯数次并将清洗液转移至 500 mL 容量瓶中。用去离子水稀释到 500 mL。

在相同环境下，用玻璃器具进行空白试验。

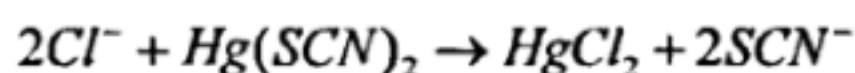
C.3 化学分析方法

C.3.1 光谱法分析氯

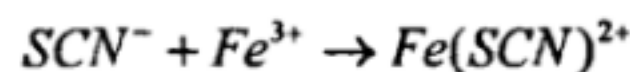
卤素如溴和碘的存在，对定量分析会产生影响。

C.3.1.1 原理

溶液中的氯与硫氰酸汞反应形成氯化汞并释放出硫氰酸离子，反应如下：



硫氰酸离子与铁离子反应生成红色络合物，其颜色深度与硫氰酸离子浓度成比例，即与氯离子浓度成比例：



C.3.1.2 范围

该方法适用于氯含量超过 10 mg/kg 的产品或材料，以及氯浓度超过 25 mg/kg 的溶液的定量分析。

C.3.1.3 仪器

化学分析采用以下仪器：

——分光光度计；

——40 mm 比色皿；

——100 μL、200 μL、1000 μL 和 5000 μL 移液管。

C.3.1.4 试剂

C.3.1.4.1 制备硝酸铁溶液

称15.1g的 $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ ，加入45mL浓度为70%的高氯酸，溶解后用除盐水注满到100mL容量瓶中。

C.3.1.4.2 将准备好的饱和硫氰酸汞贮存在纯乙醇中。

C.3.1.4.3 制备50 mg/kg的氯离子参考溶液

精确称量1.648g的氯化钠溶解到1L的除盐水中，1mL的这种溶液相当于1mg的氯离子。稀释20倍这种溶液，得到50mg/kg的溶液。

C.3.1.5 程序

将一定体积的矿化样品加入容量为50 mL的容量瓶中，用除盐水加满容量瓶至50 mL。

将该溶液倒入100 mL烧杯中并加入：

——4 mL 硝酸铁 (C.3.1.4.1)，

——4 mL 硫氰酸汞 (C.3.1.4.2) 并用磁力搅拌器搅拌均匀。

5 min后，测溶液在460 nm波长时的光学密度，并与用“除盐水+试剂”组成的空白试样作比较。

比较校准范围 (C.3.1.6)，确定样品的氯含量。

扣除从空白试验得到的空白值。

C.3.1.6 校准范围准备

备好5个50 mL容量瓶，并分别标记a、b、c、d、e，用移液管分别加入下列溶液：

——0 μL 溶液 (C.3.1.4.3)，即 0 μg 氯离子；

——100 μL 溶液 (C.3.1.4.3)，即 5 μg 氯离子；

——200 μL 溶液 (C.3.1.4.3)，即 10 μg 氯离子；

——300 μL 溶液 (C.3.1.4.3)，即 15 μg 氯离子；

——400 μL 溶液 (C.3.1.4.3)，即 20 μg 氯离子。

用除盐水将50 mL的容量瓶充满，分别代表0 mg/kg、0.1 mg/kg、0.2 mg/kg、0.3 mg/kg、0.4 mg/kg的氯离子浓度。

然后按照 (C.3.1.5) 对每个容量瓶进行处理，并测量这些溶液的光密度并与空白试验（使用除盐水+试剂）进行比较。

C.3.1.7 产品试样的氯离子浓度 (mg/kg)

试样中氯离子浓度 ρ (mg/kg) 按以下公式计算：

$$\rho = \frac{\rho_{\text{试样在曲线上的读数}} \times F_{\text{试样}} - \rho_{\text{空白试验在曲线上的测量读数}} \times F_{\text{空白试验}}}{1000 \times m} \times 10^6 \quad \text{..... (C.1)}$$

式中：

F ——稀释因子， $F = \frac{50(\text{程序中规定的液体体积, mL})}{V(\text{取自总提取体积中的测样体积, mL})} \times 100$ (总提取体积, mL)；

m ——试样质量，单位为 mg。

注：进行空白试验时，应尽可能少地稀释分析用溶剂。

C.3.2 离子色谱法分析氯、氟和硫

本方法是唯一可选择的全氯分析方法。定量分析会受到高含量硝酸盐的影响。

C.3.2.1 原理

使用一个低容量回路将未知溶液注入带电导率测定仪的离子交换色谱分析系统。

C.3.2.2 范围

本试验方法适用于氯、氟和硫的含量超过10 mg/kg的产品或材料以及其浓度大于5 μ g/kg的溶液的定量分析。

C.3.2.3 仪器

使用的仪器为：

- a) 色谱仪；
- b) 带电导率测定仪的液相离子色谱分析系统，其中包括：
 - 1) 一个电导率测定记录仪或者峰值积分器；
 - 2) 一个前置离子交换柱，HPIC-AG2P/N031 022 (DIONEX)；
 - 3) 一个阴离子交换柱；
 - 4) 一个背景噪音干扰消除柱；
 - 5) 一套体积在 100 μ L~350 μ L 范围内的注入回路。
- c) 100 μ L、200 μ L、1000 μ L、5000 μ L 移液管。

C.3.2.4 试剂

C.3.2.4.1 分离柱提取液

按照所用仪器的配置、分离柱要求以及需要定量分析的元素进行准备。

C.3.2.4.1 母液

母液包括：

- 从 NaCl 制备的浓度为 1g/kg 的氯离子溶液；
- 从 NaF 制备的浓度为 1g/kg 的氟离子溶液；
- 从 H₂SO₄ 制备的浓度为 1g/kg 硫酸根离子溶液。

C.3.2.5 校准范围的准备

通过稀释母液 (C.3.2.4.2) 准备以下参照溶液：

- 0.050 mg/kg 的氯离子+0.050 mg/kg 的硫酸根离子+0.050 mg/kg 的氟离子；
- 0.100 mg/kg 的氯离子+0.100 mg/kg 的硫酸根离子+0.100 mg/kg 的氟离子；
- 0.150 mg/kg 的氯离子+0.150 mg/kg 的硫酸根离子+0.150 mg/kg 的氟离子；
- 0.200 mg/kg 的氯离子+0.200 mg/kg 的硫酸根离子+0.200 mg/kg 的氟离子。

C.3.2.6 操作规程

在提取液介质中平衡色谱系统直至得到稳定的基线。用分析溶液冲洗样品回路，然后注入分析溶液（稀释 25 倍~50 倍）。根据使用的标准溶液 (C.3.2.5) 预先确定的滞留时间，在分离柱的色谱图上标出氯、氟和硫在离子状态的峰值。试样中氯、氟和硫的含量分别根据各元素确定的电导率与其标准溶液相比较所得到的峰值的测量高度来确定。

扣除从空白试验所得到的数值。

C.3.2.7 产品试样的氯、氟、硫浓度 (mg/kg)

试样中氯离子、氟离子和硫离子的浓度 ρ (mg/kg) 按以下公式计算:

$$\rho = \frac{\rho_{\text{试样在曲线上的读数}} \times F_{\text{试样}} - \rho_{\text{空白试验在曲线上的测量读数}} \times F_{\text{空白试验}}}{1000 \times m} \times 10^6 \dots\dots\dots (\text{C.2})$$

C.3.3 硝酸汞滴定法分析氯

本分析方法适用于在100 mL试验试样中氯含量大于0.2 mg/kg的溶液的定量分析。例如溴和碘之类的卤素的存在会干扰定量分析。本方法主要适合于浸滤过程中释放的氯的定量分析 (C.2.3)。

C.3.3.1 原理

当加入氯离子时,汞盐组成可溶性氯化汞络合物。用二苯卡巴腓—溴酚蓝混合指示剂检测过量的汞离子。滴定终点是生成蓝—紫色汞二苯卡巴腓络合物。

C.3.3.2 仪器

使用的仪器为:

- 专门用于这种滴定试验的标准实验室玻璃器皿: 800 mL 烧杯、表蒙玻璃、500 mL 容量瓶;
- 电热板;
- 刻度为 0.01 mL 的 5 mL 微量滴定管;
- 微孔滤纸, 孔径为 5 μm ;
- 棉纱手套。

C.3.3.3 试剂

C.3.3.3.1 硝酸

密度为1.40 g/mL的超纯硝酸。

C.3.3.3.2 硝酸汞标准溶液

取50 mL去离子水经0.5 mL浓硝酸 (C.3.3.3.1) 酸化后, 将约2.4 g的硝酸汞 ($\text{Hg}(\text{NO}_3)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$) 溶解于其中, 然后添加去离子水稀释至1000 mL。必要时进行过滤, 该溶液用氯化钠标准溶液 (C.3.3.3.3) 标定。

C.3.3.3.3 氯化钠标准溶液

氯化钠在 105 $^{\circ}\text{C}$ 烘干后准确地称量 0.1649 g, 用去离子水溶解并稀释至 1000 mL。
该溶液含有 100 mg / L 的氯化物。

C.3.3.3.4 混合指示剂

在 75 mL 的 95%乙醇中, 溶解 0.5 g 晶状二苯基卡巴腓和 0.05 g 粉末状溴酚蓝。继续添加乙醇稀释至 100 mL, 装入棕色瓶子进行保存 (保存期六个月)。

C.3.3.3.5 硝酸

在 1000 mL 的容量瓶中加入 3 mL 的浓硝酸 (C.3.3.3.1), 用去离子水稀释至 1 L。

C.3.3.3.6 氢氧化钠溶液 (10g/L)

将 10 g 氢氧化钠溶解在 100 mL 去离子水中, 并稀释至 1 L。

C.3.3.4 操作规程

C.3.3.4.1 硝酸汞溶液滴定度的测定

在 100 mL 烧杯中加入 10 mL 的氯化钠标准溶液 (C.3.3.3.3), 再加五滴混合指示剂 (C.3.3.3.4)。逐滴地加入硝酸溶液 (C.3.3.3.5) 直到烧杯中出现黄色, 然后再补滴 0.1 mL 硝酸溶液。

用硝酸汞溶液 (C.3.3.3.2) 滴定该溶液, 至颜色呈稳定的蓝紫色。为更好地观察色变, 建议在烧杯下放一张白纸。

用去离子水进行空白试验。

硝酸汞溶液滴定度 N (mol/mL) 的计算:

$$N = \frac{C \times S}{(V_1 - V_2) \times 35.5 \times 10^3} \dots\dots\dots (C.3)$$

式中:

C —— 氯化钠标准溶液的浓度 (100 mg / L);

S —— 氯化钠标准溶液的体积 (10 mL);

V_1 —— 用于氯化钠标准溶液的滴定溶液的体积 (mL);

V_2 —— 用于空白试验的滴定溶液的体积 (mL);

计算得到的 N 应接近 0.014 mol/mL。

C.3.3.4.2 氯离子的确定

取 100 mL 待分析溶液 (见 C.2), 按照硝酸汞溶液滴定度的测定规程进行操作。

溶液的氯化物浓度 (Cl^- , mg/kg):

$$Cl^- = \frac{(V'_1 - V'_2) \times N \times 35.5 \times 10^3}{S'} \dots\dots\dots (C.4)$$

式中:

V'_1 —— 用于试样的滴定溶液体积 (mL);

V'_2 —— 用于空白试验的滴定溶液体积 (mL);

N —— 硝酸汞溶液的滴定度 (mol/mL);

S' —— 分析试样的体积 (100 mL)。

从这个数值扣除空白试样的数值。

对照公式 C.3 和公式 C.4 可以导出下列关系式以求出氯化物含量 (mg/L)。

$$\text{氯化物含量} = C \times \frac{V'_1 - V'_2}{V_1 - V_2} \times \frac{S}{S'} \dots\dots\dots (C.5)$$

每克试样溶解过滤后, 滤出的氯化物浓度 ρ (mg/kg) = $\frac{Cl^- \times \text{最终过滤体积 (500mL)}}{\text{试样重量 (g)}}$

C.3.3.5 替代方法

使用能记录吸收曲线变化的比色滴定计 (波长为 520 nm) 进行滴定, 这种方法能消除判断指示剂滴定终点时的人为误差因素。

仪器: 与前述方法用的仪器相同, 另增加:

- 分光光度计和电位滴定计；
- 5 mL 滴定管；
- 滴定池。

取50 mL按前述规程配制的过滤液注入玻璃滴定池内，再将滴定池放在其格架内。

启动搅拌器，调波长至520 nm。电位滴定计开关定在100 mV档。开始滴定，电位滴定计确保滴定管和记录仪同步转动。从记录中求出当量点。

C.3.4 离子计测定氟含量

C.3.4.1 原理

在氟离子电极和参比电极之间建立的电位差与氟离子浓度的对数值成线性关系。

C.3.4.2 范围

本方法适用于氟含量在10 mg/kg以上的产品或材料，以及氟浓度超过2 $\mu\text{g/kg}$ 的溶液的定量分析。线性关系一直保持到浓度为 10^{-6}mol/L (20 $\mu\text{g/kg}$)。

可能的测量范围为 $10^{-7}\text{mol/L} < F < 10^{-6}\text{mol/L}$ (2 $\mu\text{g/kg} < F < 20\mu\text{g/kg}$)。

最低可测量 $5 \times 10^{-8}\text{mol/L}$ (1 $\mu\text{g/kg}$)。

C.3.4.3 仪器

使用的仪器为：

- 精密离子计（最小分辨率 0.1 mV）；
- 氟离子专用测量电极；
- 饱和甘汞参比电极（充满 KCl 饱和液）；
- 100 μL 、200 μL 、1000 μL 、2000 μL 移液管。

C.3.4.4 试剂

C.3.4.4.1 “TISABIII”离子缓冲溶液

醋酸铵—环己烷二胺四醋酸（CDTA）—氯化铵“四醋酸二硝基环乙烷”的混合物。

C.3.4.4.2 pH为6的缓冲溶液

柠檬酸钠和硝酸钾混合物。

C.3.4.4.3 氟离子摩尔浓度溶液

制备方法：将 41.99 g 氟化钠溶解到除盐水中。

C.3.4.4.4 氟离子0.01摩尔浓度溶液

制备方法：将（C.3.4.4.3）中溶液稀释 100 倍。

C.3.4.4.5 氟离子0.001摩尔浓度溶液

制备方法：将（C.3.4.4.4）中溶液稀释 10 倍。

C.3.4.5 操作规程

将测定用量 (V) 的矿物化试样放入 50 mL 的容量瓶中, 加入 2 mL “TISAB III” 离子缓冲溶液 (C. 3. 4. 4. 1) 和 3 mL pH 为 6 的缓冲溶液 (C. 3. 4. 4. 2)。用除盐水将 50 mL 的容量瓶加满。然后将此溶液转移到 100 mL 大口杯中。

使用电磁搅拌设施不停地搅拌溶液, 将电极浸入溶液 5 cm, 稳定后记录离子计的电位差。

对于低浓度溶液, 该操作需持续几分钟。

然后通过比较标定范围 (C. 3. 4. 6) 确定试样的氟离子浓度。应将空白试验的数值扣除。

C. 3. 4. 6 标定范围的准备

在四个 100 mL 体积的容量瓶 a、b、c、d 中加入 4 mL 离子缓冲溶液 (C. 3. 4. 4. 1), 6 mL pH 值为 6 的缓冲溶液 (C. 3. 4. 4. 2), 然后按照下列数量加入:

——0.1 mL 的 0.001 摩尔浓度溶液 (C. 3. 4. 4. 5);

——0.5 mL 的 0.001 摩尔浓度溶液 (C. 3. 4. 4. 5);

——1 mL 的 0.001 摩尔浓度溶液 (C. 3. 4. 4. 5);

——10 mL 的 0.001 摩尔浓度溶液 (C. 3. 4. 4. 5)。

然后用除盐水将 100 mL 的容量瓶加满, 分别代表氟离子浓度: 0.019 mg/kg、0.095 mg/kg、0.19 mg/kg、1.9 mg/kg。

对于每种溶液, 记录其离子计的电位差, 并在半对数坐标纸上标定检量线。

C. 3. 4. 7 产品试样的氟浓度 (mg/kg)

试样中氟离子的浓度 ρ (mg/kg) 为:

$$\rho = \frac{\rho_{\text{试样在曲线上的读数}} \times F_{\text{试样}} - \rho_{\text{空白试验在曲线上的测量读数}} \times F_{\text{空白试验}}}{1000 \times m} \times 10^6 \quad \text{..... (C. 6)}$$

注: 为了避开可能的干涉, 结果可以使用定量分析的方法进行检验 (该方法只有在检量线是线性的范围内才能使用)。

在这种情况下, 氟的含量可以通过下列公式计算:

$$\text{试样 (V) 中氟的含量 (mg)} = (\Delta CX) / (10^{\Delta E/V} - 1) \quad \text{..... (C. 7)}$$

式中:

ΔCX ——相应加入的氟的含量;

ΔE ——试样混合标准溶液后所记录的电位差;

V——斜率 (氟离子浓度每改变 10 倍的电位差)。

C. 3. 5 等离子发射光谱分析硫

C. 3. 5. 1 原理

将溶液中以 SO_4^{2-} 离子形式存在的硫导入 “氩 Ar^+ ” 等离子射流 (部分离子化气体能够释放大约 6000 °C 的温度), 使其活化。硫原子的去激作用导致光的发射, 其强度与存在的活化元素浓度成正比, 并能通过光谱测量。

C. 3. 5. 2 范围

本方法适用于硫含量超过 10 mg/kg 的产品或材料, 以及硫浓度超过 25 $\mu\text{g/kg}$ 的溶液的定量分析。

C. 3. 5. 3 仪器

使用的仪器为:

- 发射光谱仪（等离子炬），其装备有：
 - 一个提供导入线圈的高频发生器；
 - 能在真空中操作的单色照明网络；
 - 气动的或超声波喷雾器；
 - 计算机化的信号处理系统或电位计记录仪。
- 高压氩气瓶；
- 高压氮气瓶。
- 100 μL 、200 μL 、1000 μL 、5000 μL 移液管。

C.3.5.4 试剂

SO_4^{2-} 浓度为 1g/kg 的硫酸。

C.3.5.5 操作程序

操作程序如下：

- a) 启动仪器；
- b) 使用泵在一个单色照明网络制造真空；
- c) 点燃等离子炬：为了冲洗喷嘴，将除盐水喷雾进入等离子体几分钟，然后点燃等离子炬；
- d) 测量（样品）：

将矿物化的样品喷雾进入等离子体，测量发射信号的强度（针对“除盐水”空白试验）。然后，按照标准范围（C.3.5.6）确定样品中硫的浓度，再减去空白试验所得的数值。

C.3.5.6 标定范围的准备

使用硫酸（C.3.5.4），通过稀释准备 5 mg/kg、10 mg/kg、15 mg/kg、20 mg/kg 硫的标准溶液，并测量其发射信号的强度，并与除盐水的空白试样进行对比。

对于分析结果小于 5 mg/kg 硫的标准稀释溶液，应使用附加的标准溶液。

C.3.5.7 产品试样的硫浓度（mg/kg）

试样中硫离子的浓度 ρ （mg/kg）为：

$$\rho = \frac{\rho_{\text{试样在曲线上的读数}} \times F_{\text{试样}} - \rho_{\text{空白试验在曲线上的测量读数}} \times F_{\text{空白试验}}}{1000 \times m} \times 10^6 \dots\dots\dots (\text{C.8})$$

中 华 人 民 共 和 国
能 源 行 业 标 准
压水堆核电厂核蒸汽供应系统设备的
清洁和清洁度要求

NB/T 20233—2013

*

核工业标准化研究所发行
北京海淀区骚子营 1 号院

邮政编码：100091

电话：010-62863505

机械工业信息研究院印制部印刷

版权专有 侵权必究

*

2013 年 10 月第 1 版 2013 年 10 月第 1 次印刷
印数 1—200