

ICS:
CCS:

团 体 标 准

T/CNEA XXXX—XXXX

高温气冷堆核动力厂在役检查规范

In-service Inspection Code of High Temperature Gas Cooled Reactor

征求意见稿

2022. xx. xx

XXXX—XX—XX 发布

XXXX—XX—XX 实施

中国核能行业协会 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

 4.1 检验类别 1

 4.2 可达性 1

5 设计考虑..... 1

6 在役检查..... 2

 6.1 役前检查 2

 6.2 在役检查的进度安排 3

 6.3 取样检查 4

 6.4 补充检查 5

 6.5 重复检查 5

 6.6 在役检查的减免 5

7 检验结果的评价..... 6

 7.1 显示特征化的原则 6

 7.2 验收标准 7

8 试验要求..... 7

9 修理和更换..... 8

 9.1 实施 8

 9.2 重新检验 8

 9.3 修理更换后的压力试验要求 8

10 装备、方法和技术..... 9

 10.1 方法和技术 9

 10.2 装备 13

11 管理..... 14

 11.1 核电厂营运单位的责任 14

 11.2 文件 15

 11.3 检验人员 15

 11.4 验证 16

12 记录和报告..... 16

 12.1 检验报告单 16

 12.2 综合检验报告 16

 12.3 役前检查结果报告 16

 12.4 在役检查结果报告 17

附 录 A（规范性） 检验类别及对应的检验方法..... 18

附 录 B（规范性） 显示规范化 20

附 录 C（规范性） 验收标准表 28

前 言

本文件按照 GB/T 1.1-2020 《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。

本文件由中国核能行业协会提出并归口管理，技术支持单位为上海核工程研究设计院有限公司、核工业标准化研究所、苏州热工研究院有限公司。

本文件起草单位：华能山东石岛湾核电有限公司、华能核能技术研究院有限公司、中核武汉核电运行技术股份有限公司、清华大学核能技术设计研究院。

本文件主要起草人：xxx。

本文件为首次发布。

高温气冷堆核动力厂在役检查规范

1 范围

本文件规定了高温气冷堆安全1、2和3级承压设备及其支承件，以及通风式低耐压型安全壳在役检查规范，包括在概述、设计考虑、在役检查、检验结果评价、试验要求、修理和更换、装备、方法和技术、管理、记录和报告等。

本文件适用于高温气冷堆安全1、2和3级承压设备及其支承件，以及通风式低耐压型安全壳在役检查工作。

2 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。

ASME XI-2004 Rules for Inservice Inspection of Nuclear Power Plant Components
Nondestructive Examination

3 术语和定义

本文件没有需要界定的术语和定义。

4 一般要求

4.1 检验类别

安全1、2、3级部件及其支承件、通风式低耐压型安全壳均有对应的检验类别，每个检验类别有相应的检验/监督方法。检验类别及对应的检验/监督方法见附录A。

4.2 可达性

由于系统设计、几何形状、材料性能、放射性屏蔽、检验技术、检验设备及可达性限制等原因无法按要求实施时，应列出在役检查项目不可达清单。

对于检验过程中发现的不可达项目，应尽量通过替代检验或补充检验等方法对不可达部位进行检验，并编制不可达清单，其内容应至少包括：受检部件、受检部件编号、核安全级别、检验方法、不可达比例及原因、现场照片或示意图、不可达论证等。

5 设计考虑

5.1 设计阶段就应对系统、部件及其布置的设计进行审查，以保证所有要求的检验和试验都能顺利进行。审查要点如下：

- a) 是否留有足够空间，以便于人员和设备进出，并便于使用各种方法和技术进行检验；
- b) 是否已采用了适宜的几何形状，以考虑检查技术的要求；
- c) 是否已考虑到了把人员受到的辐射照射减少到合理可行尽量低的水平；
- d) 为进行必要的检验和试验，是否已考虑到如何拆除、存放和装复结构件、屏蔽部件、保温层和其他设备和部件；
- e) 是否已考虑了在必要处安装和支撑装卸机械(如起重机或其他装卸设备)，以便于设备、部件和其他材料的拆除、解体、装复和存放；
- f) 是否已为用不同方法进行检查留有余地(如认为可能需要其他方法进行检验时)；
- g) 设备有缺陷而可能需修理或更换的场合，是否已考虑了如何进行系统或部件的修理或更换操作；
- h) 是否已设计了易于拆卸的保温层并提供了检查期间存放保温层的场所；
- i) 是否已考虑了一回路各单个部件和其他接触放射性冷却剂的设备的去污设施；
- j) 是否已考虑了检查用装备和工作场所的去污设备。

5.2 为了能进行在役检查，还应审查的设计考虑包括诸如焊缝结构、部件表面的光洁度、杂质或腐蚀产物的积累，以及材料的选择问题。

5.3 核电厂营运单位必须得到本章所建议的全部资料，以便在运行开始前能审查在役检查大纲。

6 在役检查

6.1 役前检查

役前检查包括其基本要求及等效检查两部分，各部分内容如下：

6.1.1 基本要求

役前检查时机、范围、作用等包括：

- a) 运行开始前，必须进行役前检查。役前检查必须包括要进行在役检查的所有部件；
- b) 进行役前检查的焊缝，必须检验焊缝和邻近母材的规定部分的全长度；
- c) 役前检查作为在役检查的一部分，提供受检部件初始状态下的数据，作为以后检查结果的比较依据（或称“零点”）；
- d) 修理过的或更换过的部件，必须做役前检查。

6.1.2 等效检查

如果符合下述条件，建造过程中的制造厂检验和现场检验可以作为役前检查的一部分：

- a) 这类检验和以后在役检查的条件类似，且使用的设备和技术相同；
- b) 在制造时的压力试验之前进行检验，接着在制造时的压力试验之后又在检查区域的一组样品上作验证性检验，证明没有发生明显变化；
- c) 制造厂和现场检验记录按照后续在役检查的格式形成文件，并作了标识；
- d) 一回路压力试验完成后，役前检查时对部分焊缝进行验证性检查，证明没有明显变化。

在役检查可以发现设备和部件存在的早期缺陷，确保受影响最严重的部件即使有极小损伤也能在导致故障前被检验出来，从而保证设备和部件的完整性。

6.2 在役检查的进度安排

高温气冷堆核动力厂在役检查执行“均匀分布”检查周期，检查周期与检查期的要求如下：

- a) 检查进度执行“均匀分布”检查周期（见表1），每个检查周期为十年。
- b) 每个检查周期的年限可以缩短或延长，但不得超过一年，以便使在役检查与 HTR-PM 停堆检修相配合。如果 HTR-PM 连续停运时间半年或半年以上，则所在的检查周期时间可以根据停运时间相应延长，且原计划的相继周期也据此延长。
- c) 每个检查周期划分为三个检查期。在各检查期内，必须根据部件、检验方法以及 HTR-PM 正常运行或计划停堆所允许的可达性，完成所要求的一定次数的检验。每个检查期内的检验是整个检查周期内检验的一部分。
- d) 要求部件解体的检验，应在部件解体后进行。修理或更换的部件的检查周期应与电厂后续检查周期保持一致。
- e) 接近寿期末尾时，将分析电厂设备状态和缺陷变化的信息，必要时将缩短检查周期。
- f) 对于下列受检类别项目，可根据具体受检对象，调整每个检查周期的检验百分比或延至检查周期末进行，以代替表1规定的百分比要求。
 - 检查类别 B-A、B-D、B-F：允许推迟到检查周期末的部分检验；
 - 检查类别 B-A、B-L-1、B-M-1、B-N-2、B-O：允许推迟到检查周期末的检验；
 - 检查类别 B-G-1、B-G-2、B-L-2、B-M-2：为了对部件进行维修、修理/更换活动或体积检验而进行拆卸时，允许推迟到部件拆卸后进行；
 - 检查类别 B-K：部件支承件变形。

表1 在役检查周期和检查期*

检查周期	检查期，核电厂运行开始后的累积服役年数	要求完成的最小检验百分数%	最大检验百分数限额%
第一个（10 年）	0—3	16	50
	3—7	50*	75
	7—10	100	100
第二个（10 年）	10—13	16	50
	13—17	50*	75
	17—20	100	100
第三个（10 年）	20—23	16	50
	23—27	50*	75
	27—30	100	100
第四个（10 年）	30—33	16	50
	33—37	50*	75
	37—40	100	100

注*：任何检查类别（或项目），如果第一个检查期内完成的检验百分数超过34%，则在第二个检查期内至少要求检验16%。对于检验项目中允许检查期内调整检验百分比的，可以代替表2.1规定的百分比要求。

6.3 取样检查

6.3.1 核安全 1 级部件的取样检查

核安全1级部件及取样检查要求如下：

- a) 核安全 1 级设备焊缝：在每个检查周期进行 100 % 的检查；
- b) 核安全 1 级接管焊缝：在每个检查周期内，与容器连接的接管焊缝在每个检查周期进行 100 % 检查；
- c) 核安全 1 级管道焊缝：管道同种和异种金属焊缝在每个检查周期进行 100 % 检查；
- d) 核安全 1 级部件的承压螺栓件：限定于按照在役检查计划已选定的具体设备、泵、阀门的承压螺栓件。在每个检查周期进行 100 % 的检查；
- e) 核安全 1 级阀门、泵：在每个检查周期内，至少从每一组具有相同的尺寸、结构设计、制造方法并在系统中起类似功能的阀门、泵中各选一个进行检查；
- f) 核安全 1 级部件焊接连接件：对于设计、功能和使用相似的多个容器，在每个检查周期内可选其中之一的容器进行 100 % 的检查；对于单个容器，选择 100 % 焊接连接件进行检查；管道、泵和阀门的焊接连接件，在每个检查周期按总数的 10 % 进行抽样检查；
- g) 控制棒驱动机构和仪表接管的承压焊缝：控制棒驱动机构密封壳、吸收球驱动壳、堆芯仪表接管密封壳的焊缝在每个检查周期内按总数的 10 % 进行检查；
- h) 蒸汽发生器传热管：在每个检查期内对全部蒸汽发生器传热管进行氦检漏。将二回路的水排空后在主给水管嘴处使用氦吸枪进行氦检漏以确定是否发生泄漏。

6.3.2 核安全 2 级部件的取样检查

核安全2级部件及取样检查要求如下：

- a) 核安全 2 级容器承压焊缝：对每个系统设计或功能相似的容器，可选其中之一的承压焊缝进行 100 % 的检查；
- b) 核安全 2 级容器上的接管焊缝：在每个检查周期，对于设计、功能和使用相似的多个容器，在每个检查周期内可选其中之一的容器进行 100 % 的检查，或分摊在各个容器上；
- c) 核安全 2 级部件的焊接连接件：设计、结构、功能相同或相似的多个核安全 2 级容器，每个检查周期只选择其中一个对焊接连接件进行检查；其他部件（容器除外）的焊接连接件，在每个检查周期按总数的 10 % 进行取样检查；
- d) 核安全 2 级部件直径大于等于 2in.（50 mm）的承压螺栓：在设计、尺寸、功能和使用条件类似的一组容器、泵和阀门中任选一个进行检查；当要检查的某个部件含有一组设计和尺寸（如法兰连接、人孔盖板）类似的螺栓连接件时，则检查可在该组中的一个螺栓连接件上进行。
- e) 核安全 2 级管道承压焊缝：不同检查类别的焊缝按相应类别的焊缝总数（不包括免检焊缝）的 7.5 % 进行抽样检查，但抽样数量不得少于 28 条。
- f) 核安全 2 级泵和阀门的承压焊缝：在每个检查周期内至少从每一组具有相同尺寸、相同结构设计和相同制造方法，以及在系统中起类似功能的泵和阀门中各选一个进行取样检查。
- g) 核安全 3 级部件的取样检查
- h) 单个核安全 3 级容器，每个检查周期只选择一个焊接连接件进行检查；设计、结构、功能相同或相似的多个核安全 3 级容器，每个检查周期只选择其中一个焊接连接件进行检查；
- i) 核安全 3 级其他部件（容器除外）的焊接附件，在每个检查周期按总数的 10 % 进行取样检查。
- j) 核安全 1、2、3 级部件支承件的取样检查
- k) 1 级管道支承件在每个检查周期内完成 25 %；
- l) 2 级管道支承件在每个检查周期内完成 15 %；

- m) 3 级管道支承件在每个检查周期内完成 10 %;
- n) 非管道支承件, 每个检查周期内完成 100 %。但对于设计、结构、功能相同或相似的多个支承件, 可选其中之一进行检查。

6.3.3 通风型低耐压式安全壳的取样检查

通风型低耐压式安全壳在投入运行后第一年、第三年、第五年以及此后每隔 5 年检查一次。每次对所有可接近的通风型低耐压式安全壳表面完成 100 %检查。

安全 1、2、3 级部件及其支承件、通风式低耐压型安全壳的取样检查要求。

6.4 补充检查

当出现以下情况时, 需进行补充检查:

- a) 当发现取样检查中的缺陷显示超过验收标准时, 则当前停堆期间的检查范围应扩大, 追加额外的检查项目, 进行补充检查。补充检查应在若干另选的类似部件 (或区域) 的相同部位进行, 所选部件 (或区域) 的数量应至少等于被检取样部件中 (或区域) 的数量。
- b) 如果补充检查查明有更多的缺陷显示超过验收标准, 则其余所有类似部件 (或区域) 都应按初次取样中的部件或检查项目所规定的检查范围进行检查。
- c) 若在取样计划中要求的检查只限于基本对称布置的管系中的一条环路或一个分支管路, 而且检查表明有缺陷显示超过验收标准时, 则补充检查应包括该第二条环路或分支管路上的类似部件或区域。
- d) 对于已完成补充检查之后的检查项目, 应按最初的检查计划执行。
- e) 蒸汽发生器传热管在进行整体氦检漏后, 如果发现有泄漏情况, 需对每根蒸汽发生器传热管进行氦检漏以确定泄漏部位。

6.5 重复检查

当出现以下情况时, 需进行重复检查:

- a) 在一个检查周期内进行的部件检查的顺序, 必须尽可能在以后的检查周期内予以保持。
- b) 当一个部件的检查结果表明缺陷显示超过了合格标准的缺陷, 并确认该部件可以继续使用时, 则在随后三次检查期中每一检查期内, 都必须重复检查该部件中含有这种缺陷显示的相同部位, 并把它作为最初的检查进度中的一项附加要求。
- c) 一旦按所要求的重复检查表明在随后的三次检查中缺陷显示未发生明显变化, 则该部件的检查进度可恢复到最初的检查进度。

6.6 在役检查的减免

6.6.1 免检的核安全 1 级部件

满足下列要求的核安全 1 级承压部件 (或部件的零件), 可免受体积检验和表面检验:

- a) 除蒸汽发生器传热管外, 名义尺寸等于或小于 DN25 的管道;
- b) 等于或小于 DN25, 有一个进口和一个出口的部件和管道;
- c) 有多个进口和多个出口, 其附加管道横截面积不超过 DN25 的部件和管道;
- d) 由于控制棒驱动机构贯穿件导致不能接近的、等于或小于 DN50 的反应堆压力容器封头上的连接件及其与之相连的管道;
- e) 由于密封在混凝土内、埋入地下、位于贯穿件内侧或由护管封装而不可达的焊缝或焊接部分。

6.6.2 免检的核安全 2 级部件

满足下列要求条件之一的核安全 2 级承压部件或部件的部分，可免受体积检验和表面检验：

- a) 名义尺寸等于和小于 100 mm 的部件和管道，
- b) 有一个进口和一个出口的部件和管道，两者名义尺寸等于和小于 100 mm；
- c) 有多个进口和多个出口，其累计管道横截面积名义尺寸等于和小于 100 mm 的部件和管道；
- d) 运行压力等于或小于 1.9 MPa 且运行温度等于或低于 93 °C；
- e) 正常运行期间不充有水的系统开端部分最后一个截止阀外，任何尺寸的管道和其他部件。

6.6.3 免检的核安全 3 级部件

满足下列要求的核安全 3 级承压部件或部件的部分，可免除视检验：

- a) 名义尺寸等于和小于 100 mm 的部件和管道，
- b) 有一个进口和一个出口的部件和管道，两者名义尺寸等于和小于 100 mm；
- c) 有多个进口和多个出口，其累计管道横截面积名义尺寸等于和小于 100 mm 的部件和管道；
- d) 运行压力等于或小于 1.9 MPa 和运行温度等于或低于 93 °C，且不要求支持余热排出和应急堆芯冷却的部件；
- e) 由于包容在混凝土内、埋入地下、位于贯穿件或防护套管内封装不可接近的焊缝或焊接区。

6.6.4 免检的部件支承件

满足下列要求的支承件可免除检验：

- a) 凡连接免除体积检验、表面检验、或目视检验核安全 1 级，2 级和 3 级的管道和其它项目的支承件；
- b) 凡埋入混凝土、地下或封闭在套管内的支承件部分。

6.6.5 通风型低耐压式安全壳免检部分

被衬里、地基材料或回填土覆盖，或受相邻结构、部件、零件或附件以其他方式阻挡混凝土表面的部分。

7 检验结果的评价

7.1 显示特征化的原则

无损检验过程中得到的原始检验数据、信号、图像和测量结果统称为显示。

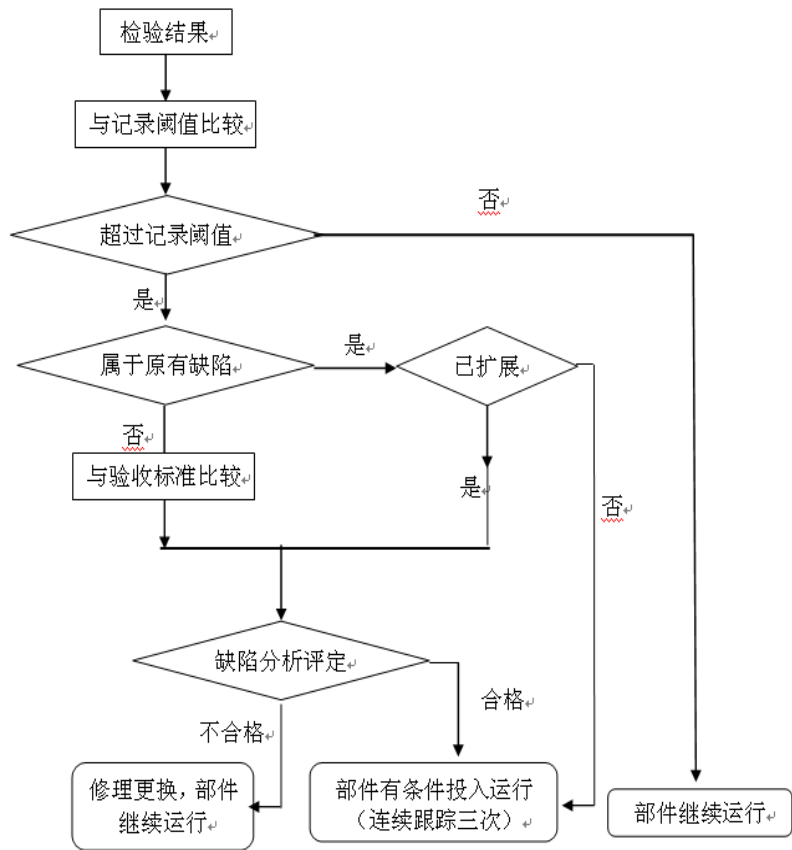


图1 显示处理流程图

在役检查过程中，对检验出的显示按照图 1 所示的“显示处理流程图”进行处理和评价。

所有役前和在役检查发现的缺陷都应该进行规范化处理，即：用一个充分包容该缺陷区域的矩形或正方形描述缺陷，以矩形或正方形的尺寸确定缺陷的尺寸。矩形或正方形的长度 l 表示缺陷的长度，其方向平行于设备的内承压表面；矩形或正方形的高度 a 或 $2a$ 表示缺陷的深度，其方向垂直于设备的内承压表面，表面缺陷的深度以 a 表示，深埋缺陷的深度以 $2a$ 表示。缺陷的形状比以 a/l 计算，比值不应超过 0.5。

显示的类型分为表面平面缺陷、深埋平面缺陷、非平面型缺陷、平行的平面缺陷、分层缺陷、射线检验的缺陷、表面或体积检验探出的线状缺陷，显示类型的划分原则及显示的相关性详见附录 B。

7.2 验收标准

验收标准是规定的可以接受的、最大允许的缺陷长度和高度以及高度与部件壁厚比率或面积的规定值。本标准所采用的验收标准详见附录 C。

8 试验要求

8.1.1 气压试验

对于气体介质系统，核安全级部件系统安装后、装料前进行气压试验，其试验介质为气体，气压试验压力为 1.1 倍设计压力。

8.1.2 水压试验

对于水介质系统，核安全级部件系统安装后、装料前进行水压试验，试验压力为 1.25 倍设计压力。

8.1.3 泄漏率试验

对于气体介质系统，核安全级部件系统安装后、装料前一回路系统及其与之相连系统需要开展泄漏率试验。

对于气体介质系统，正式运行后一回路线系统及其与之相连系统的泄漏率试验在每个检查期进行。

8.1.4 泄漏试验

对于水介质系统，停堆大修期间开展核安全级系统泄漏试验。在每个检查期进行泄漏试验以及试验期间的泄漏检查。

9 修理和更换

9.1 实施

修理或更换的时机及要求如下：

- a) 经过评定确认不能继续使用的部件必须进行修理或更换。
- b) 部件的修理应符合其制造时所采用的规范和标准以及修理时有效的质量保证大纲。
- c) 更换件应符合被更换的部件或零件建造时用的规范、标准和其他专用说明书的规定和要求，或者在符合下列条件时，更换件可符合新版的规范或新的规范和标准的要求或其中的部分要求。
- d) 影响设计、制造和检验的要求，经审查并确认没有降低原来的安全要求。
- e) 新版或新的规范或标准并未改变影响性能的机械接口配合和公差。
- f) 材料适合和满足系统的安装和运行要求。

9.2 重新检验

修理或更换后的部件需进行重复检验：

- a) 无论何种原因，修理或更换的部件都必须进行重新检验。承压部件在恢复使用前必须按照 HSNPC 编制并生效的压力试验程序和技术文件进行试验。这种重新检验必须包括无损检验的方法，而且必须把重新检验的结果作为以后在役检验的新的依据
- b) 当系统或部件需要修改、变更或增加时，必须使用本规范关于修改和更换的规定。

9.3 修理更换后的压力试验要求

役前及在役检查范围内的承压部件若通过焊接的方式进行修理或更换，重新投入使用前应进行压力试验，但以下项目可免除压力试验：

- a) 堆焊层；
- b) 热交换器传热管堵塞和套管；
- c) 不贯穿压力边界的管道、泵和阀门的焊接或钎接接头；
- d) 去除和更换的小于法兰轴向厚度一半的法兰密封面；
- e) 金属去除后留下的壁厚至少为最小设计壁厚 90 % 的压力容器焊接；
- f) DN25 或更小的部件或连接件；

- g) 在堆焊层上焊接的管与管板焊缝；
- h) 密封焊缝；
- i) 在部件的非承压与承压部分之间的焊接和钎接接头；
- j) 阀盘或阀座。

10 装备、方法和技术

10.1 方法和技术

检验的方法和技术必须符合有关部门认可的标准。检验包括超声检验、射线检验、液体渗透检验、泄漏检验、目视检验。

以上每种检验都是一种通用方法，每种方法有适于该方法的不同技术和规程，可根据检验时不同的可达性，辐射水平和装备自动化程度进行选择。

10.1.1 超声检验

超声检验参考的规范、检验区域、检验方法等要求如下：

a) 参考的规范

超声检验是用于检验平面型缺陷（例如裂纹或裂纹型缺陷）的较有效的方法。检验时应注意选择检验的角度。超声检验应按 ASME XI-2004 执行。

b) 检验区域

检验区域包括焊缝本身和焊缝两侧各 $1/2$ 壁厚的范围，不同类型焊缝的具体检验区域范例见图 2。

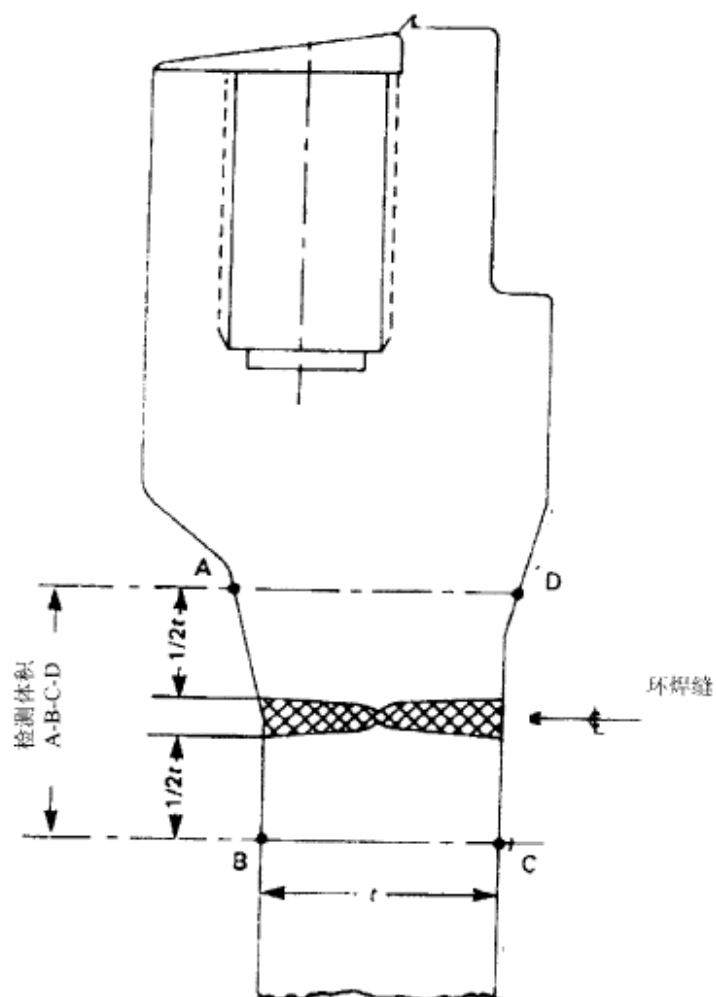


图2 超声检验区域

c) 检验方法

检验方法包括纵波直探头检验法和横波斜探头检验法两种，扫查方向为平行和垂直于焊缝。

d) 显示的记录

所有波幅超过 20 %基准线的信号应进行记录。

10.1.2 射线检验

射线检验参考的规范、检验区域、检验方法等要求如下：

a) 参考的规范

是用于检验具有体积型特征缺陷（例如气孔、夹渣、点蚀、局部冲蚀）的较有效的方法。射线检验

应按 ASME XI-2004 执行。

b) 检验区域

检验对象主要包括，焊缝的检验区域范例见图 3。

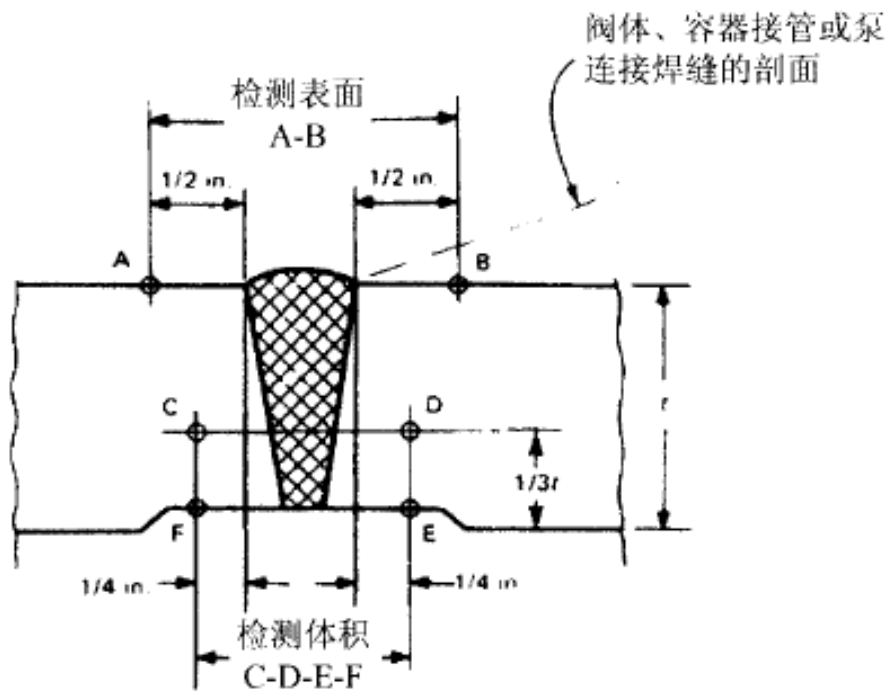


图3 采用射线检验的部位

c) 检验方法

进行射线检验时应优先选用单壁透照技术，在单壁透照技术不可行的情况下，可以使用双壁透照技术。

d) 记录准则

发现的所有显示都应当进行记录和评定。

10.1.3 液体渗透检验

液体渗透检验参考的规范、检验区域、检验方法等要求如下：

a) 参考的规范

液体渗透检验用于部件表面开口型缺陷的检验，检验时应注意渗透时间和温度。液体渗透检验应按 ASME XI-2004 执行。

b) 检验区域

检验对象主要包括封头与法兰的焊缝、接管和管道焊缝、壳体的焊接连接件，不同类型焊缝的检验

区域范例见图 4。

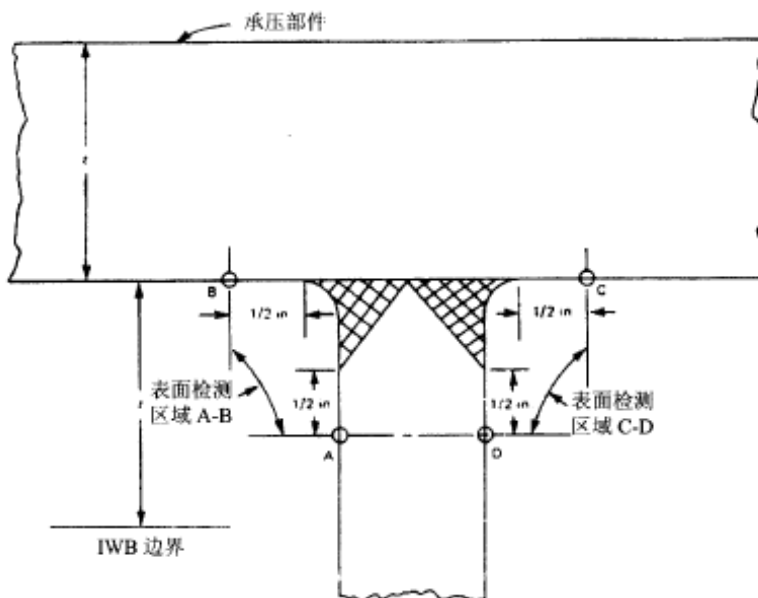


图4 采用液体渗透检验的部位

c) 检验方法

液体渗透检验使用溶剂去除型着色法。

d) 记录准则

发现的所有显示都应当进行记录和评定。

10.1.4 泄漏检验

泄漏检验参考的规范、适用对象、环境条件等要求如下：

a) 参考的规范

泄漏检验应按照 ASME XI-2004 进行。

b) 适用的对象

泄漏检验适用于蒸汽发生器换热管的检验。

c) 环境条件

在进行泄漏检验前，应对传热管进行通风处理。

d) 检查结果的利用

如果泄漏检验发现蒸汽发生器传热管有泄漏现象，则应进行相应的处理。

10.1.5 目视检验

目视检验包括直接目视检验、间接目视检验，各方法参考规范、检验区域等要求如下：

10.1.5.1 直接目视检验

a) 参考的规范

目视检验分为 VT-1（用于检测部件表面不连续性和瑕疵）、VT-2（用于检测压力试验时承压部件是否泄漏）和 VT-3（用于检测部件及其支承的机械及结构状态）三种，按 ASME XI-2004 执行。

b) 检验区域

直接目视检验采用目视检查的方法，检验设备或部件表面的缺陷，检验部件主要有螺栓螺母、法兰表面、泵和阀门、承压部件、部件支承件、混凝土安全壳等，检验内容包括磨损、裂纹、腐蚀、泄漏迹象、结构完好性等。

c) 检验方法及记录准则

直接目视方法及记录准则如下：

- 1) VT-1 用于检验部件表面裂纹、腐蚀、磨损、冲蚀、机械损伤等表面缺陷。
- 2) VT-2 用于检验承压部件、系统的泄漏，检验时必须尽可能在系统处于试验压力和温度下进行，且检验前试验压力和温度必须保持足够长的时间。
- 3) VT-3 用于检验部件及其支承件的机械和结构的总体情况，例如变形、位移；检验不连续性和不完整性，例如螺栓连接或焊接连接处完整性丢失，检验零部件失落或松动、破碎、腐蚀及划伤等。

10.1.5.2 间接目视检验

间接目视检验应按 ASME XI-2004 执行，在直接目视不可达的情况下采用间接目视检验，其检验区域、检验方法、显示的记录与直接目视检验相同。

10.2 装备

10.2.1 仪器设备

高温气冷堆核动力厂在役检查仪器设备要求如下：

- a) 用于检验和试验的所有设备，其质量、量程和精确度都必须符合有关部门认可的标准。
- b) 如需使用标定件时，它们必须符合同样的标准。如果没有制定出这种适用于标定件的标准，则这些标定所用材料和表面光洁度必须与被检部件完全一样，而且经受过同样的加工制造条件（如热处理）。制造和役前检查期间和以后在役检查期间应尽可能使用同样的标定件。
- c) 构成设备的各种物项必须在使用前与其附件一起加以标定。所有设备都必须有关于标定记录的适当标识。营运单位必须按质量保证大纲定期地核实标定的有效性。各种物项的标定必须符合有关部门认可的标准。

10.2.2 试块

10.2.2.1 标准试块

标准试块是指规定用于设备标定和校验的试块，由专门机构负责制定，试块的材质、形状、尺寸及表面状态都统一规定。标准试块应经计量部门检定合格。

10.2.2.2 参考试块

在役检查参考试块要求如下：

- a) 参考试块与被检部件的相应部分在材质、制造工艺，包括热处理工艺以及表面状态等方面基本一致。
- b) 役前检查与在役检查使用同一种参考试块。
- c) 参考试块在防火、防腐蚀的环境中妥善保管，以免尺寸发生变化、受到机械损坏或丢失。

10.2.3 检查用耗材

在役检查用耗材包括超声检验耦合剂、渗透剂、显像剂、清洗剂等，具体要求如下：

- a) 超声检验耦合剂

在镍基合金上使用的耦合剂硫含量不得超过 250 ppm，在奥氏体不锈钢上使用的耦合剂卤素（氯和氟）含量不得超过 250 ppm。

- b) 渗透剂、显像剂和清洗剂

渗透剂、显像剂和清洗剂的杂质含量应满足 ASME-V 卷（2004）第 6 章液体渗透检验附录 II 的要求。

11 管理

11.1 核电厂营运单位的责任

11.1.1 高温气冷堆营运单位必须负责制定和执行本规则中所述及的在役检查。

这些职责通常包括：

- a) 审查高温气冷堆设计和系统部件的布置，确保要求的全部检验和试验都能顺利进行，并保证检验人员所受到的辐射照射保持在合理可行尽量低的水平；
- b) 编制在役检查大纲和检验进度表；
- c) 拟订和编制书面的检验细则和规程，包括指明受检部件、说明部件的受检区域、和描述部件受检区域定位方法的示意图和系统图；
- d) 对在役检查大纲实行监查；
- e) 保证由合格人员进行检验；
- f) 按照检查大纲和书面规程对部件进行详细检验；
- g) 对每一项检验和试验结果进行分析和评价；
- h) 编制和实施部件修理、更换或改进的详细计划；
- i) 记录所有的检验和试验结果，以提供评价依据并便于与以后的检验结果作比较；
- j) 保管好所进行的检验、试验、分析和评价的完整记录，如射线照片、图表、图纸、报告、数据和人员的资格证书等；
- k) 提交国家核安全部门可能要求的上述任何资料。

11.1.2 高温气冷堆营运单位必须保证根据实践经验和变化了的现场条件，从整体和细节两方面对在役检查大纲进行审查，必要时作修订。

11.2 文件

11.2.1 必须编制出每一台高温气冷堆机组在运行寿期内要进行的全部检验和试验文件，文件必须包括下列资料：

- a) 受检部件的选择；
- b) 检验类型的确定；
- c) 受检区的选择、定位和范围以及检验的频度；
- d) 用于检验的方法和技术；
- e) 检验和试验过程中可能受到照射剂量的评价。

11.2.2 必要时为了表明符合国家核安全部门的要求，必须编制包括以下内容的文件：

- a) 初步在役检查大纲；
- b) 最终在役检查大纲；
- c) 详细的检验和试验规程。

11.2.3 初步在役检查大纲必须证实核电厂的设计已为待进行的在役检验采取适当的措施。在最终设计完成前，核电厂营运单位应与制造厂协商编制出初步大纲。

11.2.4 最终在役检查大纲必须详细说明运行开始前要完成的役前检验，以及电厂机组运行寿期内要进行的在役检验和试验。它也必须说明如何和何时进行这些检验和试验。

11.2.5 应利用图纸、图表或简图表明焊缝的位置和布置，并论证所拟检验的可行性。

11.2.6 最终在役检查大纲中必须清楚地注明详细的检验程序。程序应包括以下内容：

- a) 检验范围；
- b) 采用的规范和标准；
- c) 支持性文件；
- d) 关于人员资格的要求；
- e) 使用的方法和装备；
- f) 受检部件的准备；
- g) 标定和重新标定的要求；
- h) 检验规程；
- i) 必要时定出最低记录水平；
- j) 需记录的数据。

11.2.7 必须特别注意检验和试验结果的记录格式应能表明检验和试验已恰当地完成。例如，纳入最终记录里的所有专用表格可以作为详细的检验和试验程序的组成部分。

11.2.8 必须在检验和试验之前编写、审查详细的检验和试验程序，必要时需经过批准，以便有足够的时间培训人员、安装和调试装备。

11.2.9 在役检查大纲和规程的修订和审查必须形成文件。

11.3 检验人员

11.3.1 必须按适当的和公认的标准考核检验人员，特别注意根据他们在类似的电厂结构布置上用过类似的器件和同样的检验方法的经验，来考核其履行职责的能力。

11.3.2 必须提供证据，证明检验是由合格人员进行的。包括以下内容：

- a) 验证检验人员的资料并将有关资料纳入检验报告，或
- b) 安排颁发经有关部门认可的合格证书，或
- c) 聘用一个由有关部门认可的有资格执行所要求的检验的机构。

11.4 验证

11.4.1 检验和试验结果是否符合要求必须安排独立验证。从事此项验证工作的检查员必须由核电厂营运单位、国家核安全部门或有关部门派出，也可按实际情况由有关部门认可的机构派出。

11.4.2 在役检查的最终结果必须经核电厂营运单位确认可保证设备满意地连续运行。必要时呈送国家核安全部门。

12 记录和报告

在役检查记录和报告包括检验报告单、综合项目检验报告、役前检查结果报告、在役检查结果报告。

12.1 检验报告单

检验报告单应至少包括(但不限于)以下内容：

- a) 被检项目编号、检验程序编码、检验区域的位置和尺寸、检验方法、检验技术等全部有关资料，以便此项在役检查能重复进行，并获得相似的结果；
- b) 超过最低记录水平的全部显示，以及与这些显示有关的全部资料（如部位、大小和方向）；
- c) 所有原始记录（如射线照相底片、照片、图表、打印纸等），那些因未获得任何显示而不需保存并在记录中加以注明的除外；
- d) 按照验收准则对发现的显示进行评价；
- e) 检验人员签字和资格级别。

12.2 综合检验报告

每阶段在役检查项目检验完成后，编写综合项目检验报告，至少包括(但不限于)以下内容：

- a) 目的；
- b) 应用文件；
- c) 程序偏差
- d) 检验范围；
- e) 检验执行；
- f) 遇到的问题；
- g) 检验结果；
- h) 结论；
- i) 附录；
- j) 附件。

12.3 役前检查结果报告

役前检查结束后，完成役前检查结果报告的编制，至少包括(但不限于)以下内容：役前检查实施、役前检查结果、异常情况处理、役前检查结果的结论、附件。

12.4 在役检查结果报告

在役检查结束后，完成在役检查结果报告的编制，至少包括(但不限于)以下内容：在役检查实施、在役检查结果、异常情况处理、在役检查结果的结论、附件。

附 录 A
(规范性)
检验类别及对应的检验方法

A.1 检验类别和检验对象

(该草案中仅列举 1 级部件的检验类别及对应的检验对象。)

表A.1 级部件的检验类别及对应的检验对象

检验类别	检验对象
B-A	反应堆容器的承压焊缝
B-B	其他容器的承压焊缝
B-D	容器上全焊透的接管
B-F	容器接管的承压异种金属焊缝
B-G-1	直径大于 2 in. (50.8 mm) 的承压螺栓件
B-G-2	直径小于和等于 2 in. (50.8 mm) 的承压螺栓件
B-J	管道的承压焊缝
B-K	容器、管道、泵和阀门的焊接附件
B-L-1	泵壳的承压焊缝
B- L -2	泵壳
B-M-1	阀体的承压焊缝
B-M-2	阀体
B-N-1	反应堆容器的内侧
B-N-2	与反应堆容器焊成一体堆芯支承构件及内部附件
B-N-3	可拆除的堆芯支承构件
B-O	控制棒驱动机构密封壳的承压焊缝
B-P	所有的承压设备
B-Q	蒸汽发生器传热管

A.2 检验类别和检验方法

(该草案中仅列举 B-A、B-B 对应的检验方法。)

检验类别 B-A，反应堆容器的承压焊缝							
项目编号	受检验的部位	检验要求 /图号	检验方法	验收标准	检验程度和频度		检查延期到 间隔期末进行
					第 1 个检查间隔	相继的检查间隔 ^④	
B1.10	壳体的焊缝		体积检验		100 %焊缝 ^②	相同于第一个检查间隔	允许
B1.11	环焊缝						
B1.12	纵焊缝						
B1.20	容器封头的焊缝		体积检验		所有焊缝可能达到	相同于第一个检查间隔	允许
B1.21	环焊缝				的长度 ^②		
B1.22	经线方向焊缝						
B1.30	壳体与法兰的连接焊缝		体积检验		焊缝 ^②	相同于第一个检查间隔	见注释 ^③
B1.40	容器封头与法兰的连接焊缝		体积和表面检验		焊缝 ^②	相同于第一个检查间隔	见注释 ^④
B1.50	修补焊缝 ^①		体积检验		100 %补焊区域	相同于第一个检查间隔	允许
B1.51	环带区						

注：① 材料(基体金属)焊缝修补，修补深度超过 10 %容器名义壁厚。如果不确切和不准确知道修理部位，则必须对包含有修理部位的单块壳体板、锻件、或筒体段进行检验。

② 基本上包括 100 %的焊缝长度。

③ 当采用检查计划 B 时，壳体与法兰焊缝的检验可在第 1 和第 3 个检查周期内进行，在此情况中，50 %的壳体与法兰焊缝在第 1 周期末检验，其余在第 3 周期末检验。

④ 封头与法兰的连接焊缝不允许推迟检验。假如在第 3 检查周期中检验封头相同部份，则第 1 和第 2 周期内仅需检验法兰面。

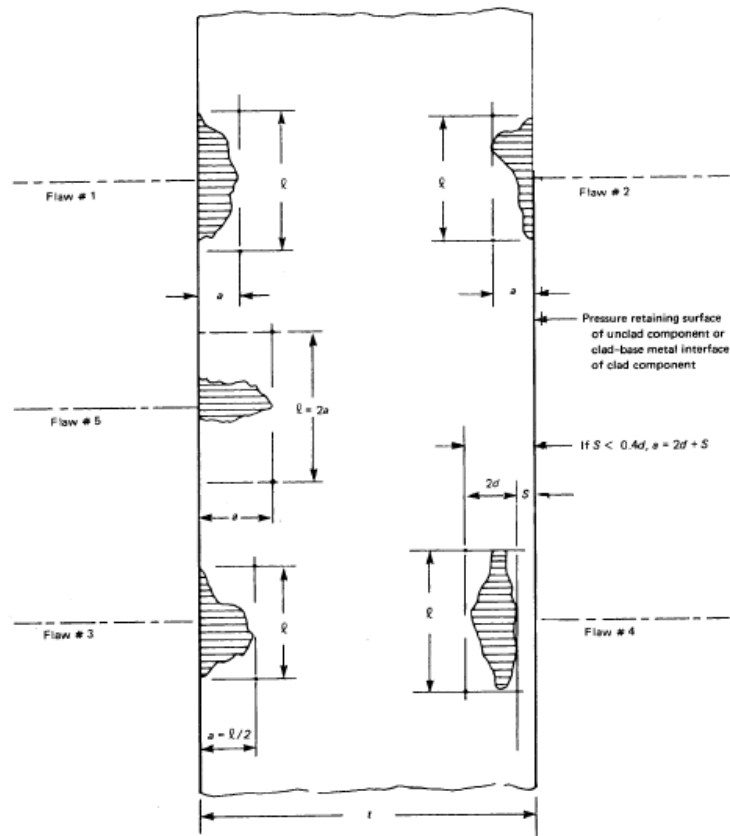
附录 B
(规范性)
显示规范化

B.1 显示的类型

显示的类型分为表面平面缺陷、深埋平面缺陷、非平面型缺陷、平行的平面缺陷、分层缺陷、射线检验的缺陷、表面或体积检验探出的线状缺陷。

B.1.1 表面平面缺陷

如果缺陷区域基本上位于一个不平行于设备表面的平面内，并且缺陷的任一部分穿透设备表面，则被认为是表面平面缺陷；如果深埋缺陷的任何部分离表面的距离 S 小于 $0.4d$ 时，则此近表面的深埋缺陷被认为是表面缺陷。

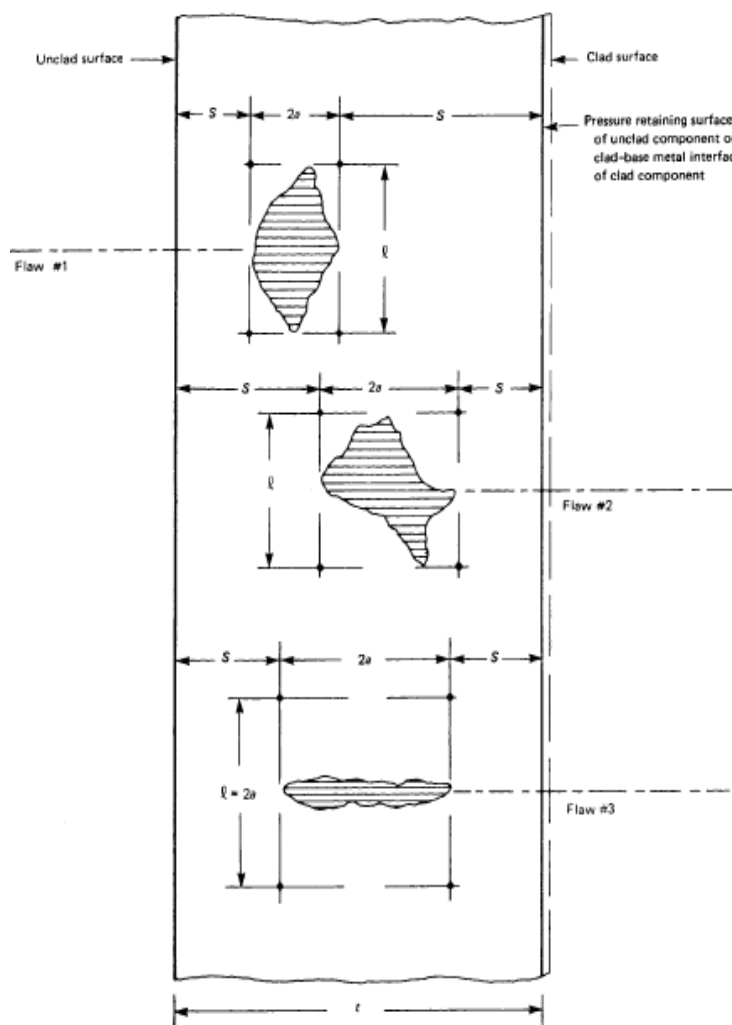


图B.1 表面平面缺陷

B.1.2 埋平面缺陷

如果缺陷区域基本上位于一个不平行于设备表面的平面内，并且缺陷距设备表面的距离 $S \geq 0.4a$ ，

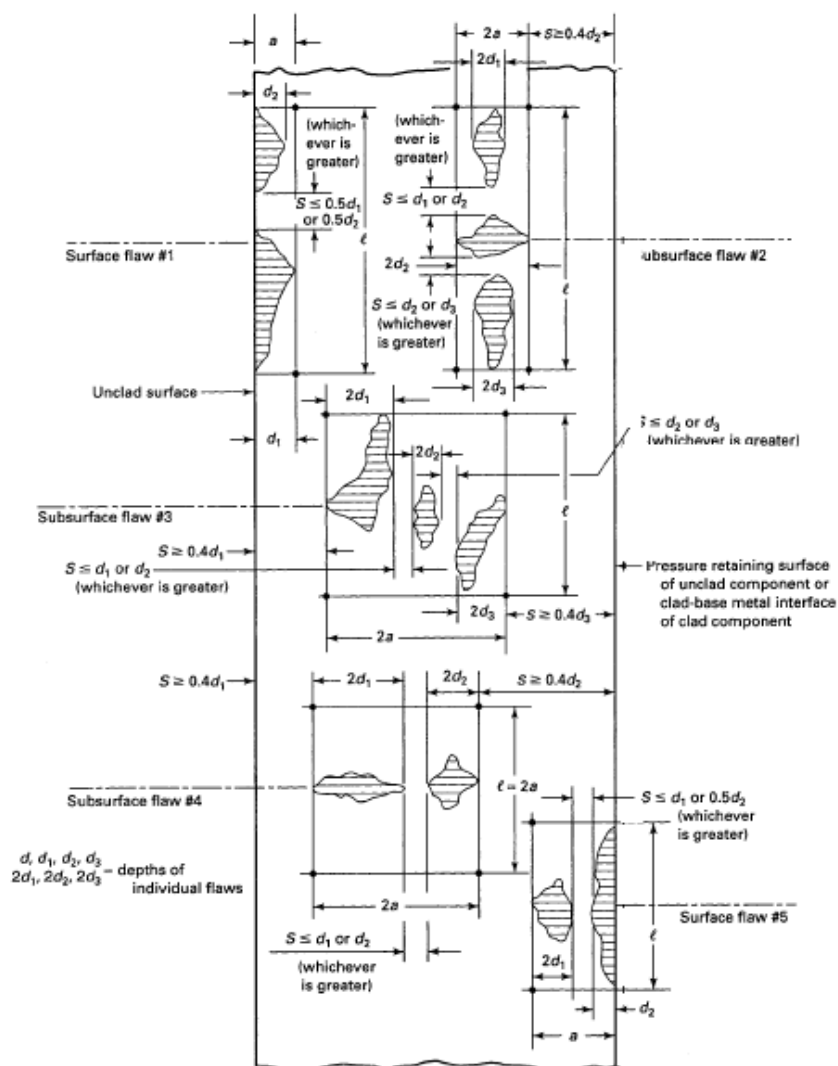
则此类缺陷被称为深埋平面缺陷。如果设备表面有堆焊层,则应从堆焊层与基体金属的界面处测量 S 值,堆焊层的厚度可以是设备设计图上规定的堆焊层的名义厚度。这种情况,则评定缺陷时应将堆焊层与母材的交界面作为评定时的设备表面。



图B.2 深埋平面缺陷

B.1.3 复合平面缺陷

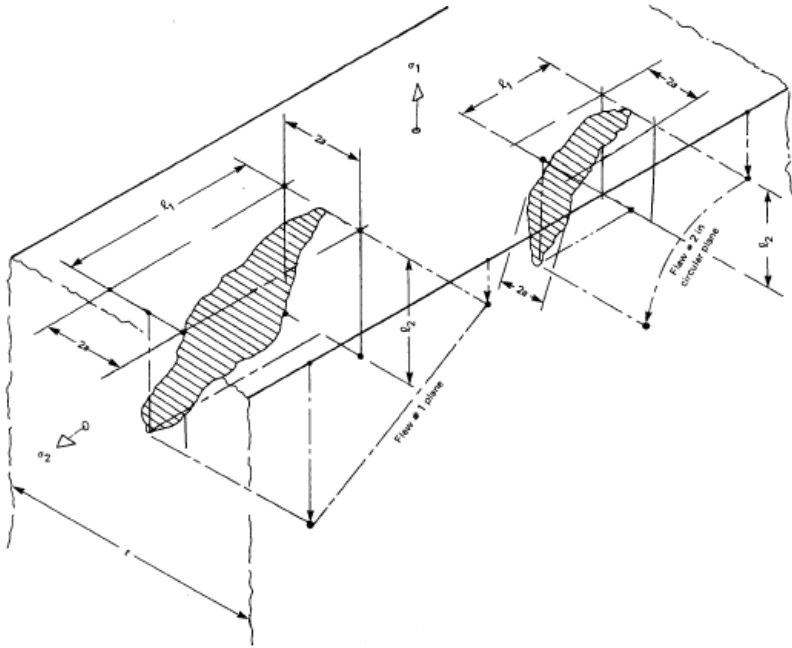
假如几个相邻缺陷之间的间距小于或等于 S , 这些不连续的缺陷可看作一个平面缺陷。根据第 1.1 和 1.2 节的原则,可将这个复合平面缺陷描述为表面平面缺陷,或深埋平面缺陷。复合平面缺陷区域的边界必须包围所有的单个缺陷,根据该边界划定的矩形或正方形,确定复合平面缺陷的尺寸 a 和 l 。



图B.3 复合平面缺陷

B.1.4 非平面型缺陷

如果一个缺陷所在区域不在一个平面内，则应将该缺陷投影到与两个最大主应力互相垂直的平面上，从而分解为两个平面缺陷，以两个平面缺陷进行评定。可根据第 1.2 和 1.3 节的原则，分别确定是表面缺陷或深埋缺陷，并分别确定其尺寸 a 和 l 。

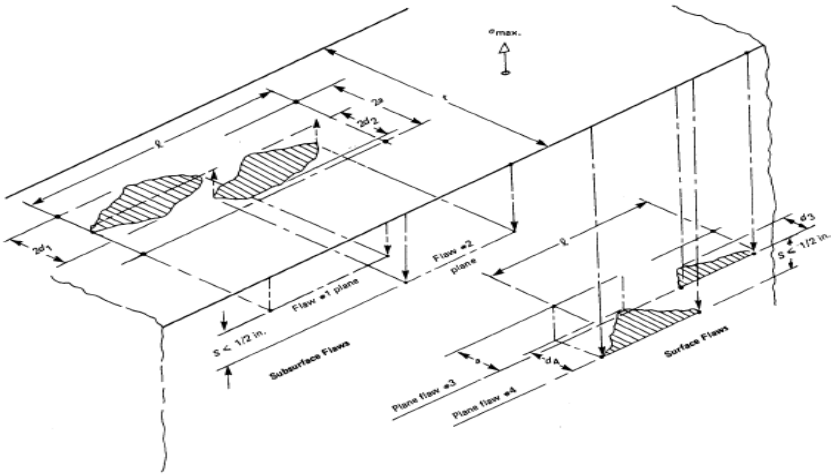


图B. 4 非平面缺陷

B. 1. 5 平行的平面缺陷

如果缺陷区域相互平行且基本上位于不平行于设备表面的平面内，若相互平行的缺陷间距小于或等于 S ，则可看作一个平面缺陷进行处理。

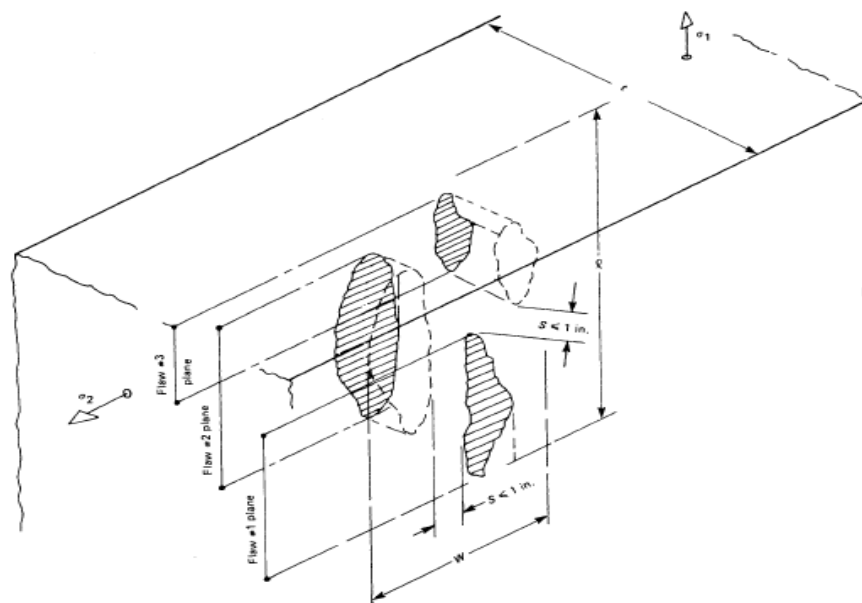
平行的平面缺陷区域的边界必须包围所有的单个缺陷，根据该边界划定的矩形或正方形，确定平行的平面缺陷的尺寸 a 和 l 。



图B. 5 平行的平面缺陷

B.1.6 分层缺陷

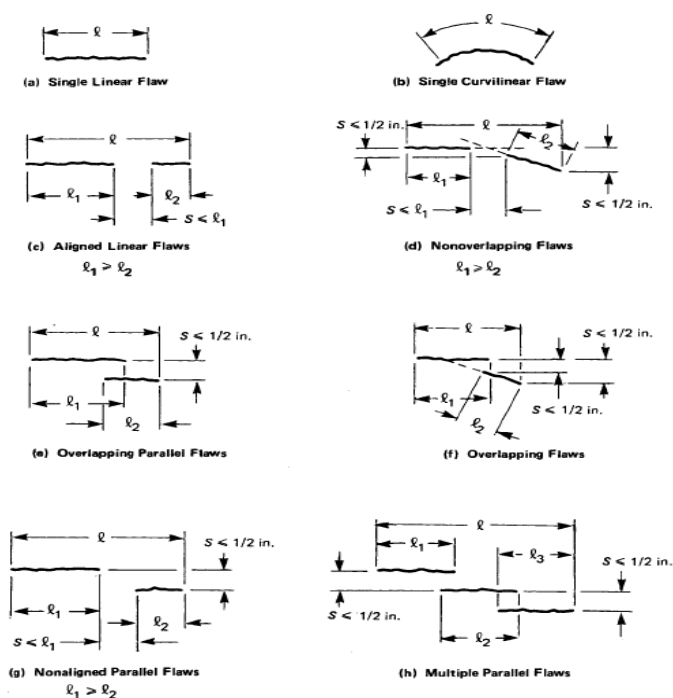
如果一个平面缺陷所在的平面与设备表面方向的夹角小于 10° ，则被确定为层状缺陷。如果一组层状缺陷相互之间的间距小于 25 mm，则这一组层状缺陷的面积用包围这一组层状缺陷的正方形或矩形面积的 0.75 倍来计算。



图B.6 分层缺陷

B.1.7 表面或体积检验探出的线状缺陷

表面 (PT/MT) 或体积检验 (RT) 探测到的几个线状缺陷，如果相邻缺陷的距离小于或等于 S 值，则被认为是单个线状缺陷。单个和不连续的线状缺陷的总长度按平行和垂直方向的和来计算。



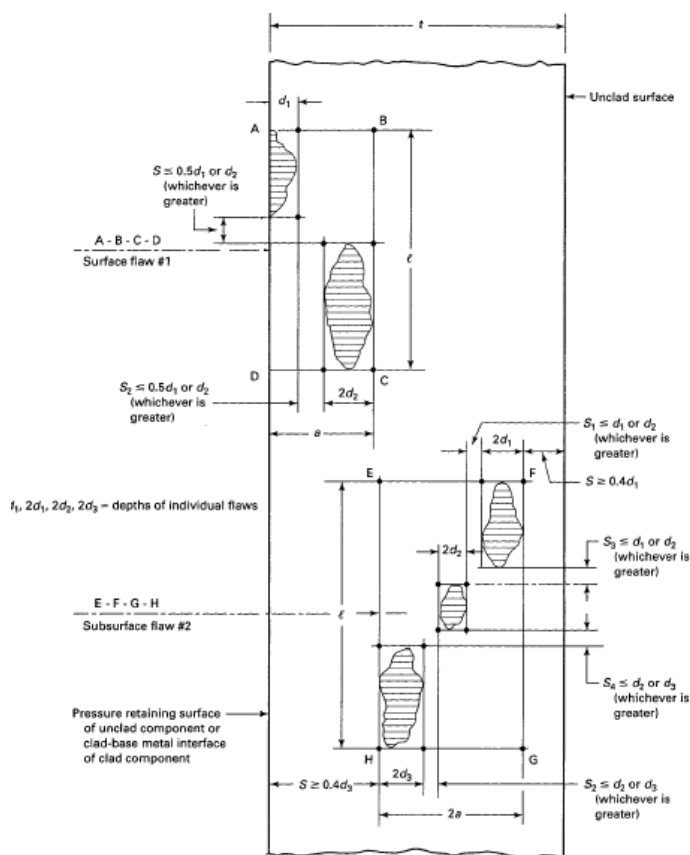
图B.7 表面或体积检验探出的线状缺陷

B.2 显示的相关性

B.2.1 共面、不成行排列的多个缺陷

当几个不连续的缺陷位于同一个平面内，并且在壁厚(t)方向不排成一线，其中至少有一个缺陷可定性为表面缺陷，如果各缺陷之间的距离 S_1 和 S_2 都不大于规定的相关尺寸，则这几个缺陷应看作单个表面平面缺陷。复合的单个缺陷的尺寸 l 和 a 由包容这些不共线缺陷的矩形或正方形确定。

当几个不连续的缺陷位于同一个平面内，在壁厚方向不排成一线，而且都定性为深埋缺陷，如果相邻缺陷之间的距离 S_1 、 S_2 、 S_3 、 S_4 都不大于相关尺寸，则这几个不连续的缺陷应看作单个深埋平面缺陷。复合缺陷的尺寸 l 和 a 由包容这些缺陷的矩形或正方形确定。



图B.8 共面、不成行排列的多个缺陷

B.2.2 成行排列且相互分离的复合缺陷

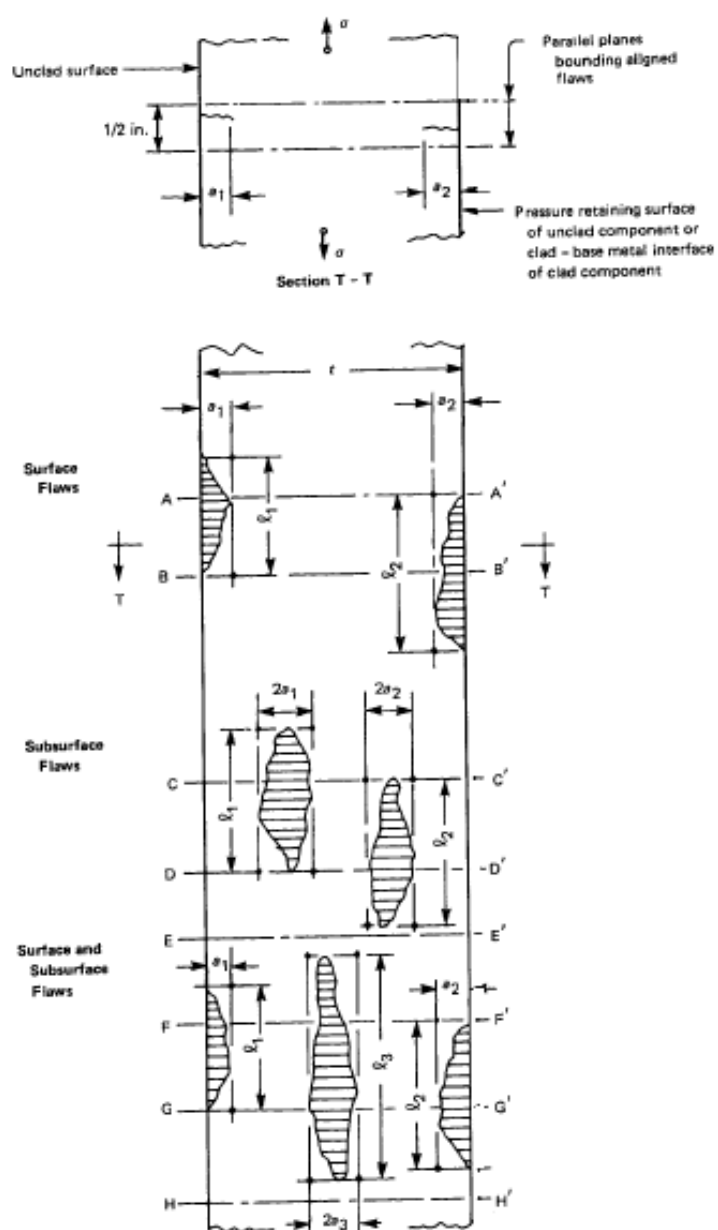
壁厚方向的同一个平面内的几个不连续缺陷，位于相互平行的两个垂直于设备承压表面、相距 13 mm 的平面之间，并且排成一线因而削弱了断面壁厚。如果满足下列要求，则可当作相互分离的单个平面缺陷处理。

- 1) 单个缺陷形状比 a/1 中的尺寸 a 不超过该设备所属检查类别的允许缺陷标准；
- 2) 两个平行平面之间的几个缺陷深度之和不超过下列限值：

两个表面缺陷（ a_1 在设备的内表面， a_2 在设备的外表面），在平面 A-A' 和 B-B 之间： $(a_1+a_2) \leq (a_s+a_s')/2$ ；

两个深埋缺陷，在平面 C-C' 和 D-D' 之间： $(a_1+a_2) \leq (a_e+a_e')/2$ ；

两个表面缺陷和一个深埋缺陷：在平面 E-E' 和 F-F' 之间： $(a_1+a_3) \leq (a_s+a_e)/2$ ；在平面 F-F' 和 G-G' 之间： $(a_1+a_2+a_3) \leq (a_s+a_e+a_s')/3$ ；在 G-G' 和 H-H' 之间： $(a_2+a_3) \leq (a_s'+a_e)/2$ 。（注：表面缺陷深度 a_s 和深埋缺陷深度 a_e 分别是验收标准中允许的最大值）。



图B. 9 成行排列且相互分离的复合缺陷

附录 C

（规范性）

验收标准表

（该草案中仅列举安全 1 级部件 B-A、B-B 的验收标准。）

C.1 安全 1 级验收标准

C.1.1 B-A、B-B 的验收标准

C.1.1.1 B-A、B-B 允许的平面缺陷

- k) 在规定的检验体积边界内,平面缺陷的允许尺寸不得超过表 2 规定的限值。
- l) 如果缺陷延伸到或者位于检验体积以外,则应将该缺陷的总尺寸与表 2 规定的标准进行比较。
- m) 堆焊层内允许有表面缺陷。

表C.1 B-A、B-B 类允许的平面缺陷

（材料：铁素体钢，满足ASME III卷NB-2331和NG-2110（b）的规定）

深宽比 ¹⁾ a/l	体积检测方法，名义壁厚 ²⁾ ，mm					
	≤65		102至300		≥400	
	表面缺陷 a/t, %	深埋缺陷 ^{3) 4)} a/t, %	表面缺陷 a/t, %	深埋缺陷 ^{3) 4)} a/t, %	表面缺陷 a/t, %	深埋缺陷 ^{3) 4)} a/t, %
0.00	3.1	3.4Y	1.9	2.0Y	1.4	1.5Y
0.05	3.3	3.8Y	2.0	2.2Y	1.5	1.7Y
0.10	3.6	4.3Y	2.2	2.5Y	1.7	1.9Y
0.15	4.1	4.9Y	2.5	2.9Y	1.9	2.1Y
0.20	4.7	5.7Y	2.8	3.3Y	2.1	2.5Y
0.25	5.5	6.6Y	3.3	3.8Y	2.5	2.8Y
0.30	6.4	7.8Y	3.8	4.4Y	2.9	3.3Y
0.35	7.4	9.0Y	4.4	5.1Y	3.3	3.8Y
0.40	8.3	10.5Y	5.0	5.8Y	3.8	4.3Y
0.45	8.5	12.3Y	5.1	6.7Y	3.9	4.9Y
0.50	8.7	14.3Y	5.2	7.6Y	4	5.6Y

注：

- 1) 对居于两值之间的缺陷，其深宽比 a/l 和厚度 t 允许用线性内插法求取。
- 2) 部件厚度 t 是在垂直于部件的承压表面测得的，在截面厚度变化的地方，则应取平面缺陷长度方向上的平均厚度作为该部件厚度。
- 3) 深埋缺陷的总深度为 2a。
- 4) $Y=(S/t)/(a/t)=S/a$, Y 是缺陷到表面的近似系数。如果 $S<0.4d$ ，则缺陷按表面缺陷来分类，如果 $Y>1.0$ ，则取 $Y=1.0$ 。

C.1.2 B-A、B-B允许的层状缺陷

表C.2 B-A、B-B 类允许的层状缺陷

部件厚度 ¹⁾ , mm	层状面积 A, mm ²
65	4800
100	7700
150	12000
200	15000
250	19000
300	23000

注:

- 1) 对居于两值之间的厚度, 其面积允许用线性内插法求取。

C.1.3 B-A、B-B允许的线状缺陷

表C.3 B-A、B-B 类允许的线状缺陷

(材料: 铁素体钢, 满足ASME III卷NB-2331和NG-2110 (b) 的规定)

截面名义厚度 ²⁾ t, mm	表面缺陷 ¹⁾³⁾ l/t, %	深埋缺陷 ¹⁾ l/t, %
≤65	17.4	28.6
100至300	10.4	15.2
≥400	8	11.2

注:

- 1) 当缺陷深度尺寸 a 未能确定时, 才适用于按表面检测 (MT/PT) 或射线检测方法探测出的线状缺陷。如果作附加体积检测 (UT) 来确定 a 和 l 尺寸, 则必须应用表 3.2.1.1 的标准。
- 2) 对居于两值之间的厚度, 允许用线性内插法求取。

C.2 安全 2 级验收标准

(本草案不列举)

C.3 安全 3 级验收标准

(本草案不列举)

C.4 通风式低耐压型安全壳验收标准

(本草案不列举)