

团 体 标 准

T/CNEA XXXXX—XXXX

压水堆承压部件 设备设计制造 第 1 部分： 反应堆压力容器

Code for PWR pressure boundary components Equipments design and
fabrication Part 1: Reactor Pressure Vessel

点击此处添加与国际标准一致性程度的标识

（征求意见稿）

（本稿完成日期：）

XXXX – XX – XX 发布

XXXX – XX – XX 实施

中国核能行业协会 发布

目 次

前言 III

引言 IV

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 通用要求 2

 4.1 通则 2

 4.2 职责 2

 4.3 设备范围 2

 4.4 功能与分级 3

5 材料 3

 5.1 通则 3

 5.2 母材 3

 5.3 焊接材料 5

 5.4 存档材料 5

6 设计 5

 6.1 通则 5

 6.2 结构设计 6

 6.3 分析法设计 8

7 制造 13

 7.1 通则 13

 7.2 机加工 13

 7.3 成形、装配与对中 14

 7.4 焊接 14

 7.5 热处理 15

 7.6 见证件 15

 7.7 污染预防 16

 7.8 无损检验 16

 7.9 水压试验 18

 7.10 标识与标记 20

 7.11 铭牌 20

 7.12 清洁、包装、运输与贮存 20

附录 A（资料性附录） 典型反应堆压力容器主要零部件 23

附录 B（资料性附录） 反应堆压力容器推荐母材 25

附录 C（资料性附录）	反应堆压力容器推荐焊接材料.....	26
附录 D（资料性附录）	反应堆压力容器载荷组合.....	27
附录 E（规范性附录）	顶盖贯穿件无损检验要求.....	29

前 言

本标准按照GB/T 1.1-2020给出的规则起草。

T/CNEA ××××《压水堆承压部件 设计与制造》与 T/CNEA ××××《压水堆承压部件 材料》、T/CNEA ××××《压水堆承压部件 焊接》、T/CNEA ××××《压水堆承压部件 无损检测》和 T/CNEA ××××《压水堆承压部件 设备设计制造》共同构成支撑《压水堆承压部件》团体标准体系。

本文件是 T/CNEA ××××《压水堆承压部件 设备设计制造》的第 1 部分。

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，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。

本标准起草单位：上海核工程研究设计院有限公司、核工业标准化研究所、中国机械工业联合会、中机生产力促进中心、中国一重集团有限公司、上海电气核电设备有限公司、东方电气（广州）重型机器有限公司。

本标准起草人：林绍萱、史志龙、刘润发、陶宏新、梅乐、王秉熙、刘振忠、李家驹、和广庆、吴小奎、梁化、阳淇合、李亭、赵旭东。

本标准首次发布。

引 言

T/CNEA XXXXX《压水堆承压部件 设备设计制造》旨在XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX，拟由五个部分构成。

- 第1部分：反应堆压力容器。目的在于规定压水堆核电厂反应堆压力容器材料、设计、制造、检验和试验等方面的基本要求。
- 第2部分：蒸汽发生器。目的在于规定压水堆核电厂蒸汽发生器材料、设计、制造、检验和试验等方面的基本要求。
- 第3部分：稳压器。目的在于规定压水堆核电厂稳压器材料、设计、制造、检验和试验等方面的基本要求。
- 第4部分：控制棒驱动机构。目的在于规定压水堆核电厂反应堆控制棒驱动机构材料、设计、制造和试验等方面的基本要求。
- 第5部分：堆内构件。目的在于规定压水堆核电厂反应堆堆内构件的材料、设计、制造和试验等方面的基本要求。

压水堆承压部件 设备设计制造 第 1 部分：反应堆压力容器

1 范围

本标准规定了压水堆核电厂反应堆压力容器的建造要求，包括材料、设计、制造、检验、试验、验收、包装和运输等要求。
本标准适用于压水堆核电厂反应堆压力容器。

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。

- GB/T 191 包装储运图示标志
- GB/T 4334 金属和合金的腐蚀不锈钢晶间腐蚀试验方法
- GB/T 17569 压水堆核电厂物项分级
- NB/T 20220 轻水冷却反应堆压力容器辐照监督
- NB/T 20233 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 20408 核电厂物项包装、运输、装卸、接收、贮存和维护要求
- T/CDEA XXXXX 压水堆承压部件 设计与制造
- T/CDEA XXXXX 压水堆承压部件 无损检测
- T/CDEA XXXXX 压水堆承压部件 材料
- T/CNEA XXXXX 压水堆承压部件 焊接

3 术语和定义

3.1

计算厚度 required thickness

按本标准相应公式计算得到的厚度。需要时，还应计入其他载荷所需厚度。对于外压元件，系指满足稳定性要求的最小厚度。

3.2

名义厚度 nominal thickness

计算厚度加上厚度附加量后向上圆整至材料标准规格的厚度。即标注在图样上的厚度。

3.3

有效厚度 effective thickness

名义厚度减去厚度附加量。

3.4

堆芯区 beltline region

在反应堆活性区所在高度范围内的筒体。

3.5

参考无塑性转变温度 reference nil-ductility transition temperature (RT_{NDT})

表征规范等级1级设备承压材料韧性指标的参数。确定方法参见T/CDEA XXXXX.2 《压水堆承压部件设计与制造 第2部分：1级部件》。

4 通用要求

4.1 通则

4.1.1 反应堆压力容器的设计、制造、检验和验收除应符合 T/CDEA XXXXX.1 《压水堆承压部件 设计与制造 第1部分：通用要求》、T/CDEA XXXXX.2 《压水堆承压部件 设计与制造 第2部分：1级部件》以及本标准所有部份的规定外，还应遵守国家颁布的有关法律、法规和导则。

4.1.2 反应堆压力容器的设计单位、制造单位应按 T/CDEA XXXXX.1 《压水堆承压部件 设计与制造 第1部分：通用要求》及有关导则建立适用的质量保证体系。

4.2 职责

4.2.1 设计单位的职责

设计单位应满足T/CDEA XXXXX.1 《压水堆承压部件 设计与制造 第1部分：通用要求》的相关规定。

4.2.2 制造单位的职责

制造单位应满足T/CDEA XXXXX.1 《压水堆承压部件 设计与制造 第1部分：通用要求》的相关规定。

4.3 设备范围

本标准管辖范围是指反应堆压力容器本体及附件。

a) 反应堆压力容器与所连接的管道或其他部件的边界范围，反应堆压力容器的边界不应小于下列范围：

- 1) 焊接连接件的第一道环焊缝接头（以反应堆压力容器的焊接坡口为接口分界，连接焊缝应认为是管道的一部分）；
- 2) 螺栓连接件的第一个法兰面（以反应堆压力容器的法兰盘为接口分界，螺栓应认为是管道的一部分）；
- 3) 螺钉连接件的第一个螺纹接头（以反应堆压力容器的螺纹接头为接口分界）。

b) 附件是指与反应堆压力容器承压部分的内部或外部相接触和相连接的元件。

- 1) 附件可能有承压功能，也可能没有承压功能；
- 2) 附件也可以具有结构功能或非结构功能。

c) 反应堆压力容器承压部件和附件间的边界应满足 T/CDEA XXXXX.2 《压水堆承压部件 设计与制造 第2部分：1级部件》的规定。

典型反应堆压力容器的主要零部件见附录A。

4.4 功能与分级

4.4.1 功能

反应堆压力容器是反应堆冷却剂系统（RCS）中的重要设备之一，与该系统的其它设备一起构成反应堆冷却剂承压边界，并容纳反应堆堆芯和相关的支承（即堆内构件）以及冷却剂。其主要功能如下：

- a) 作为 RCS 的承压部件，容纳反应堆冷却剂和燃料裂变产物；
- a) 支承堆内构件和堆芯，引导反应堆冷却剂流经堆芯，带走堆芯产生的热量，保证堆芯的可冷却性；
- b) 为堆内构件提供定位和对中；
- c) 为控制棒驱动机构、堆芯测量装置等提供支承和对中；
- d) 为反应堆冷却剂环路提供支承和定位。

4.4.2 分级

反应堆压力容器的安全等级、抗震类别、质量保证等级和规范等级应遵守T/CDEA XXXXX.1 《压水堆承压部件 设计与制造 第1部分：通用要求》的要求。

5 材料

5.1 通则

5.1.1 应选用已经过运行验证的材料。已验证的材料是指那些与在役压水堆核电厂中至少使用数年的材料具有同样的名义成分和后续加工步骤（如热处理、制造和安装），处于同样条件（如应力水平、水化学环境或温度）的材料。

5.1.2 反应堆压力容器所采用的材料应与其在电厂寿期内可能遇到的内外部环境相容。这些环境条件包括温度、湿度、辐射、接触的流体或材料的化学成分以及其他可能影响材料适应性的外部环境。

5.1.3 反应堆压力容器承压边界的材料，应由具有核电站相同材料业绩和相应资质的材料制造单位制造。如材料制造单位没有相应材料的制造和反应堆压力容器应用业绩，应进行系统性的试验研究，验证能长期安全地用于反应堆压力容器。用于反应堆压力容器制造的材料应按评审合格的相同工艺进行制造、试验和检验。

5.1.4 反应堆压力容器应选用不出现脆性状态的材料，并应在所有正常运行及事故的环境条件下能承受快速扩展失效或其他失效。

5.1.5 应采用合理的材料和制造工艺，避免晶间应力腐蚀开裂的发生。

5.1.6 不应使用抗一次侧应力腐蚀开裂(PWSCC)能力低的材料。

5.1.7 对于所有应用于反应堆压力容器与冷却剂接触的完工表面的材料，应限制本标准 5.2.4.4 中所述低熔点的元素及其合金和化合物的含量在尽可能低的水平。

5.1.8 除了耐磨材料、紧固件、锁紧帽以及特别规定的小零件的钴含量不得超过 0.20%，其余与冷却剂接触的所有材料的钴含量不应超过 0.05%。

5.2 母材

5.2.1 基本要求

5.2.1.1 典型反应堆压力容器用材料主要包括了反应堆压力容器堆芯区部件和非堆芯区部件用锻件、安全端用锻件、主螺栓、主螺栓螺母及主螺栓垫圈用棒材、密封环用镍基合金管材、堆芯支承块和控制

棒驱动机构顶盖贯穿件等部件用镍基合金棒材、检漏管等部件用奥氏体不锈钢管材、放气管等部件用镍基合金管材、堆测接管等部件用奥氏体不锈钢锻件等。

5.2.1.2 反应堆压力容器承压部件及与承压部件相焊接的附件材料应符合 T/CDEA XXXXX.2 《压水堆承压部件 设计与制造 第2部分：1级部件》的规定。典型反应堆压力容器主要零部件的推荐材料见附录B。若不采用附录B中推荐的材料，应满足相关国家标准、行业标准的要求。

5.2.1.3 其余零部件材料应满足相关国家标准、行业标准或材料技术条件的要求。

5.2.1.4 所有用于反应堆压力容器的材料必须具有合格证和质量证明文件。

5.2.2 壳体

5.2.2.1 反应堆压力容器壳体用低合金钢锻件的化学成分应进行严格控制，使材料受中子辐照损伤的敏感性尽可能的降低。低合金钢锻件应能抗脆性断裂并应满足 T/CDEA XXXXX.8 《压水堆承压部件 设计与制造 第8部分：辅助规则》资料性附录U：“防止失效的断裂韧度准则”的要求。

5.2.2.2 除了试验和监督材料取样部位外，承压锻件在热处理之前应采用成形或机加工方式加工至接近成品尺寸的形状。对于所有低合金钢锻件，应对毛坯到成品的机加工量进行限制。对于大型锻件，仅在热处理可能引起较大变形的位置或最终产品截面复杂区域的机加工余量可以适当放宽。

5.2.2.3 当反应堆压力容器用低合金钢锻件材料采用新工艺进行制造时，应对反应堆压力容器用低合金钢锻件进行评定。

5.2.3 紧固件

5.2.3.1 主螺栓、主螺栓螺母和主螺栓垫圈用材料的冶炼，应采用电炉冶炼+真空重熔或电炉冶炼+真空脱气+真空浇注工艺。经设计单位认可，亦可采用电炉冶炼+真空脱气工艺。

5.2.3.2 主螺栓、主螺栓螺母和主螺栓垫圈用材料实测规定塑性延伸强度 $R_{p0.2}$ 不允许超过 1034MPa。

5.2.4 奥氏体材料

5.2.4.1 不应使用易于敏化的奥氏体不锈钢母材。

5.2.4.2 所有奥氏体不锈钢材料应以固溶状态交货；所有非稳定化奥氏体不锈钢材料都应满足如下规定：

- a) 在设备和系统的制造、运输、贮存、建造、试验和运行期间，材料要进行适当的清洁和保护，防范可导致应力腐蚀开裂的污染物；
- b) 材料的非敏化状态应采用 GB/T 4334，方法 A 和方法 E，或其他可以证明奥氏体不锈钢处于非敏化的方法。试验用试样应当选自经受每一不同热处理条件的材料并取自每一热处理炉号；
- c) 对于通过上述 b) 试验的材料，如在此之后经受 427-816℃敏化温度范围，则材料碳含量不能高于 0.03%，以下情况例外：
 - 1) 接触此类反应堆冷却剂的材料，该类冷却剂在所有温度高于 90℃的正常运行工况下，溶解氧浓度受控且通常低于 0.020ppm，限值为 0.10ppm；
 - 2) 铁素体含量至少为 5%的铸件或焊缝金属；
 - 3) 仅限于焊接操作中经受 427-816℃固溶的管道，其管径足够小，以至于在反应堆正常运行期间发生管道系统的可信假设故障，仅依靠反应堆冷却剂补水系统进行补水，该反应堆能够按程序停堆和冷却；
- d) 对于通过上述 b) 试验的材料，如在此之后在热处理或焊接以外的其他工艺中经受 427-816℃敏化温度范围，应当根据上述 b) 重新试验，以证明其对晶间腐蚀不敏感。以下情况不要求重新试验：
 - 1) 铁素体含量为 5%或更高的铸件或焊缝金属；

- 2) 碳含量为 0.03%或更低且承受敏化温度 427–816℃少于 1 小时的材料；
- 3) 经受特殊加工处理的材料，条件是该工艺过程正确受控，能获得均匀的产品，并有足够的服役经验资料和/或测试数据以证明该特殊加工处理过程不会增加晶间应力腐蚀的敏感性。

5.2.4.3 禁止使用镍-铬-铁 600 合金。

5.2.4.4 所有的奥氏体不锈钢和镍-铬-铁合金钢材料都不允许有意添加低熔点材料作为合金成分，比如铅、锌、镉、锡、汞、铋、硫、铝、砷和其他低熔点合金以及它们的化合物。如果有任何上述杂质存在于奥氏体不锈钢和/或镍-铬-铁合金中，应当取得原设计单位的书面认可。

5.2.5 内部附件

与反应堆压力容器成为一体的内部附件（如：反应堆堆内构件堆芯支承块）应采用抗腐蚀的合金材料。

5.3 焊接材料

5.3.1 反应堆压力容器的低合金钢焊接材料成分应与被焊母材的成分相当。所有的焊接材料都应满足本标准以及本标准第 2 章引用的焊接材料标准中的相关要求，附录 C 为推荐的焊接材料。若采用附录 C 以外的其他焊接材料，其应满足相关国家标准、行业标准和设计文件的要求。

5.3.2 反应堆压力容器用焊接材料的化学成分应进行严格控制，使材料受中子辐照损伤的敏感性尽可能的降低。堆芯区环焊缝熔敷金属的镍、铜、磷、钒和硫含量应严格控制，具体限值由设计文件规定。与冷却剂接触的所有焊接材料的钴含量不应超过 0.05%。

5.4 存档材料

5.4.1 反应堆压力容器承压锻件母材及堆芯区焊缝应设置存档材料。存档材料应从可用作试料的锻件和管材上切取并提交业主。这些材料应具有可追溯性并有书面的过程和热处理记录。材料应经历与相应压力容器材料最终状态相同的热处理及制造过程。

5.4.2 堆芯区焊缝存档材料的母材应分别取自产品堆芯区锻件的延长段，应使用与产品焊缝同批号焊接材料、相同的焊接工艺、坡口准备、无损检验和焊后热处理。

5.4.3 母材金属和焊缝存档材料的尺寸应能加工出至少 2 套辐照监督试样，具体尺寸和数量由设计文件规定。

6 设计

6.1 通则

6.1.1 反应堆压力容器的设计、分析与验证必须满足设备分级所对应要求和安全审查的要求。

6.1.2 反应堆压力容器是反应堆冷却剂系统中的重要设备。对核电设施在寿期内安全、经济运行来说反应堆压力容器的可靠性及耐久性是必须的要求，因此反应堆压力容器的设计及制造需要采用最可行的、经验证的工艺技术。

6.1.3 反应堆压力容器的设计应考虑腐蚀余量、循环疲劳、中子辐照脆化以及磨损程度等，可以将设计寿命作为依据来进行确定或计算。

6.1.4 反应堆压力容器的设计基础，包括运行与试验工况的考虑，设计、使用和试验载荷的确定应满足 T/CNEA XXXXX.1《压水堆承压部件 无损检测 第 1 部分：通用要求》的规定。

6.1.5 反应堆压力容器的设计应考虑在所有运行工况下，均能保持可靠的结构完整性和防止放射性冷却剂外逸。

6.1.6 反应堆压力容器的设计还应考虑制造和在役检查方面的可行性。应提供接近的通道，以便有可能对反应堆压力容器所有的焊缝进行自动化的在役检查。

6.1.7 反应堆压力容器的设计制造过程中，应尽可能减少使用的材料类型和级别。

6.2 结构设计

6.2.1 基本要求

6.2.1.1 反应堆压力容器的结构设计应满足 T/CNEA XXXXX.2 《压水堆承压部件 设计与制造 第2部分：1级部件》的相关要求。

6.2.1.2 堆芯活性区所在高度以下的筒体上不应设置接管或开孔。

6.2.1.3 应尽量避免在底封头上设置开孔或贯穿件。

6.2.1.4 反应堆压力容器接管的位置应设在堆芯以上，并且应不影响换料操作、反应堆顶盖区域的维修或反应堆压力容器以及反应堆冷却剂回路接管的在役检查。

6.2.1.5 应尽可能减小反应堆压力容器结构不连续部件的局部应力。

6.2.1.6 应避免形成容易积聚腐蚀产物的死角。

6.2.1.7 反应堆压力容器焊缝的位置应满足在役检查的要求。

6.2.1.8 所有在运行或装换料时与冷却剂接触的反应堆压力容器表面，包括法兰以及螺栓孔周围与冷却剂接触的表面，都应进行耐蚀层堆焊。

6.2.2 承压部件

6.2.2.1 筒体

6.2.2.1.1 圆柱形筒体段应是锻造的壳体。最上部的筒体锻件应采用整体式的设计，即容器法兰和与之相邻的壳体应构成一个强化的环锻件。

6.2.2.1.2 反应堆压力容器的堆芯区筒身段应避免存在焊缝、设计壁厚变化、压力容器支承块、吊耳或其他几何不连续。

6.2.2.1.3 压力容器的支承宜允许压力容器在正常运行和瞬态下有轴向和径向的膨胀。

6.2.2.1.4 未开孔的筒体厚度（不包括腐蚀裕量）应不小于 T/CNEA XXXXX.2 《压水堆承压部件 设计与制造 第2部分：1级部件》规定的最小厚度。

6.2.2.2 接管

6.2.2.2.1 冷却剂接管、控制棒驱动机构贯穿件、堆芯测量仪表接管及其他 D 类连接件应按照 T/CNEA XXXXX.2 《压水堆承压部件 设计与制造 第2部分：1级部件》规定的要求与顶盖、筒体连接。

6.2.2.2.2 部分焊透焊接接管，只允许用在基本没有管道反作用力的接管上，如控制棒驱动机构贯穿件及测量装置的开孔。进中、出口接管及安注接管与反应堆压力容器禁止采用部分焊透焊缝连接。部分焊透焊接接管及焊缝的结构、尺寸等应满足 T/CNEA XXXXX.2 《压水堆承压部件 设计与制造 第2部分：1级部件》的相关要求。

6.2.2.2.3 冷却剂接管与管道间应设置安全端。

6.2.2.2.4 接管的厚度应不小于 T/CNEA XXXXX.2 《压水堆承压部件 设计与制造 第2部分：1级部件》规定的最小厚度。

6.2.2.2.5 在补强范围之外，接管与管道过渡的壁厚应满足 T/CNEA XXXXX.2 《压水堆承压部件 设计与制造 第2部分：1级部件》的要求。

6.2.2.3 顶盖

- 6.2.2.3.1 压力容器的顶盖一般由球冠顶盖和直段法兰组成。
- 6.2.2.3.2 反应堆压力容器顶盖的设计应具有放气接管，从而能使蒸汽以及不可凝结的气体从反应堆压力容器排出。
- 6.2.2.3.3 反应堆压力容器应在顶盖设置管座，以使控制棒驱动系统运行时通过压力容器顶盖并且使控制棒从堆芯上部插入。
- 6.2.2.3.4 每个控制棒驱动贯穿接管都应用过盈配合和部分焊透（J型坡口）的方法装入顶盖。
- 6.2.2.3.5 反应堆压力容器应为容器内的温度测量和中子测量提供贯穿接管。
- 6.2.2.3.6 反应堆压力容器顶盖的设计还应考虑紧固件装拆设备操作方便可行。
- 6.2.2.3.7 顶盖直段的最小壁厚（不包括腐蚀裕量）以及球冠部分未开孔区的壁厚（不包括腐蚀裕量）应不小于 T/CDEA XXXXX.2 《压水堆承压部件 设计与制造 第2部分：1级部件》规定的最小厚度。

6.2.2.4 底封头

底封头的壁厚（不包括腐蚀裕量）应不小于 T/CDEA XXXXX.2 《压水堆承压部件 设计与制造 第2部分：1级部件》规定的最小厚度。

6.2.2.5 开孔与开孔补强

反应堆压力容器承压壳体上的开孔补强应满足 T/CDEA XXXXX.2 《压水堆承压部件 设计与制造 第2部分：1级部件》的要求。

6.2.3 反应堆压力容器螺栓

- 6.2.3.1 压力容器上的主螺栓预紧、移除以及为螺栓孔加盖时应使用动力设备进行远程操作。顶盖设计时应考虑此因素来进行法兰面积的设计，并提供足够的支承面和空间，便于传递并操作远程操作工具。
- 6.2.3.2 制造单位在进行工厂水压试验时应使用螺栓拉伸机来拉伸和放松主螺栓。
- 6.2.3.3 每个主螺栓应设置一个吊耳，以便于主螺栓吊装。
- 6.2.3.4 螺栓的结构应便于检验和维修。
- 6.2.3.5 主螺栓、主螺母及主螺母垫圈的所有表面应进行磷化处理。
- 6.2.3.6 每个主螺母都应有一个可以使用手控扳手转动的结构。
- 6.2.3.7 主螺栓的设计需考虑最小和最大预紧载荷。主螺栓的预紧载荷可按 T/CDEA XXXXX.8 《压水堆承压部件 设计与制造 第8部分：辅助规则》附录 S 计算。
- 6.2.3.8 主螺栓所需的最小面积按下式进行计算，实际螺栓面积应不小于需要的螺栓面积 A_m ：

$$A_m = \frac{W_{m1}}{S_{mb}} \dots\dots\dots (1)$$

式中：

S_{mb} ——螺栓的设计应力强度值；

W_{m1} ——螺栓载荷。

- 6.2.3.9 水压试验工况下，主螺栓外螺纹、主螺母以及筒体主螺栓孔内螺纹的螺纹啮合长度应能保证螺纹最小剪切面积满足强度要求。
- 6.2.3.10 只有经验证有效且不导致螺栓材料腐蚀的螺纹润滑剂方可使用。

6.2.3.11 所有用螺栓与反应堆压力容器连接的内部部件应设计成其紧固件是可靠地锁紧的，当发生螺栓杆部断裂时，螺栓头部和螺纹段都应不能脱落。

6.2.4 密封设计

6.2.4.1 需要在顶盖和筒体法兰间设置两个同心的 O 形或 C 形密封圈。应能够监测两个密封圈之间区域的泄漏情况，并能在顶盖封闭后进行泄漏检验。

6.2.4.2 密封圈通过机械连接的方式紧固到顶盖或筒体上。若密封圈固定在顶盖上，当顶盖从压力容器上移走时，每个密封圈应随顶盖同时移走。

6.2.4.3 顶盖和筒体法兰密封圈应是可更换的。

6.2.5 辐照监督

6.2.5.1 寿期末预计内壁受到的最大快中子 ($E > 1\text{MeV}$) 注量大于 $1 \times 10^{17} \text{n/cm}^2$ 的反应堆压力容器应制定材料辐照监督计划并设置相应的材料辐照监督管，以监测材料断裂韧性等的变化。

6.2.5.2 应根据 NB/T 20220 建立一个材料辐照监督计划以监测压力容器堆芯区的低合金钢材料的断裂韧性变化。

6.2.5.3 辐照监督管的设计和设置位置应便于它的抽取和插入。

6.2.5.4 选定的材料应是预计对于确定反应堆压力容器运行的压力-温度限值以及补偿运行寿期内辐照效应最有限制作用的、具有寿期末最高修正参考温度的那些材料。对于不熟悉性能的反应堆压力容器钢材，应通过实验堆辐照考验，以验证预计的修正参考温度。

6.2.5.5 母材辐照监督试料、焊缝和热影响区辐照监督试料的制备要求由设计文件规定，至少应满足 NB/T 20220 的要求。

6.2.5.6 母材辐照监督试料、焊缝和热影响区辐照监督试料的尺寸及数量由设计文件规定，至少应满足 NB/T 20220 的要求，应能保证加工出 1 套冷态基准试样及装载所有辐照监督管所需的试样。

6.2.5.7 辐照监督试料的具体试验项目和要求由设计文件规定，最少应进行 NB/T 20220 规定的试验。

6.2.5.8 试样的取样位置和方向应满足 NB/T 20220 的要求。

6.2.5.9 辐照监督管内应设置中子剂量探测器和温度监测器，应满足 NB/T 20220 的相关要求。

6.3 分析法设计

6.3.1 基本要求

反应堆压力容器在各使用限制下，应在应力、疲劳、断裂等方面满足 T/CNEA XXXXX.2 《压水堆承压部件 设计与制造 第2部分：1级部件》的要求。本标准 6.3.4 节为各使用限制下的应力限制。

6.3.2 载荷

6.3.2.1 设计载荷

设计载荷应满足以下规定：

- a) 设计压力：通常是核电厂设计总参数之一，需要包络正常工况下的所有压力；
- b) 设计温度：在考虑设计压力 and 设计机械载荷的计算时应使用设计温度；
- c) 设计工况机械载荷：必须对作用于需评定部件上的机械载荷进行分析，以满足设计温度和相应环境条件下设计工况限制，载荷包括：
 - 1) 自重；
 - 2) 主螺栓预紧载荷
 - 3) 堆芯载荷；

- 4) 支承载荷；
- 5) 压力和热胀引起的接管反力；
- 6) 落棒动载荷；
- 7) 考虑 10%SSE 以包络正常振动载荷和其它还未定义的载荷。

6.3.2.2 A 级使用载荷

应对部件在正常工况下的应力进行分析，以满足相应环境条件下A级使用限制，除了设计载荷外，正常工况载荷还包括：

- a) 反应堆冷却剂系统正常运行工况下的设计瞬态；
- b) 反应堆压力容器直接安注运行工况下的设计瞬态；
- c) 由于温差或异种材料热膨胀引起的热载荷；
- d) 辐照发热率。

因为正常工况为设计工况所包络，所以不必单独对正常工况进行一次应力分析。

6.3.2.3 B 级使用载荷

应对部件在异常工况下的应力进行分析，以满足相应环境条件下B级使用限制，除了A级使用载荷，异常工况载荷还包括：

- a) 反应堆冷却剂系统异常工况下的设计瞬态；
- b) 反应堆压力容器直接安注异常工况下的设计瞬态；
- c) 运行安全地震载荷 (SL-1) 或低水平地震 (LLSE)；
- d) 主泵卡转子。

6.3.2.4 C 级使用载荷

应对部件在危急工况下的应力进行分析，以满足相应环境条件下C级使用限制，除了A级使用载荷，危急工况载荷还包括：

- a) 反应堆冷却剂系统危急工况下的设计瞬态；
- b) 反应堆压力容器直接安注危急工况下的设计瞬态；
- c) 失水事故下的相关水力载荷；
- d) 堆芯跌落载荷；
- e) 紧急停堆 (ATWS) 压力。

6.3.2.5 D 级使用载荷

应对部件在事故工况下的应力进行分析，以满足相应环境条件下D级使用限制，除了A级使用载荷，事故工况载荷还包括：

- a) 反应堆冷却剂系统事故工况下的设计瞬态；
- b) 反应堆压力容器直接安注事故工况下的设计瞬态；
- c) 满足破前漏 (LBB) 规则的失水事故下的相关水力载荷；
- d) 极限安全地震载荷 (SL-2)；
- e) 阀门动作载荷。

6.3.2.6 试验载荷

试验载荷包括水压试验和泄漏试验。水压试验载荷包括试验温度、试验压力、试验预紧载荷和自重。泄漏试验可以被设计工况所包络，而不需要单独分析。

6.3.2.7 运输载荷

应对反应堆压力容器运输过程中的载荷对结构完整性的影响进行评估，以确保设计满足适用要求，其中包括对疲劳的要求。

6.3.2.8 吊装载荷

对吊耳的吊装载荷（包括在役前、换料和在役检查期间）进行分析，以确保设计满足适用要求。吊装载荷应为在吊装操作中可能出现的载荷。

6.3.3 载荷组合

6.3.3.1 载荷组合即将设计载荷，按其发生频率、造成后果等因素进行分类并重组，同时与电厂的各级工况和规范中的运行级别建立联系，以确定评定限制。

6.3.3.2 反应堆压力容器设计时应考虑设计寿期内各级工况下所承受的载荷组合，以确保其结构完整性。附录 D 给出了供参考的载荷组合及相关载荷术语描述。

6.3.4 评定准则

反应堆压力容器在各使用限制下，应在应力、疲劳、断裂等方面满足 T/CDEA XXXXX.2 《压水堆承压部件 设计与制造 第2部分：1级部件》的要求。反应堆压力容器部件在各使用限制下的应力限制见表 1，反应堆压力容器主螺栓在各使用限制下的应力限制见表 2。

表1 部件在各使用限制下的应力限制

使用限制	应力分类	应力限制
设计	P_m	S_m
	P_L	$1.5S_m^{(2)}$
	$P_m (P_L)+P_b$	$\alpha \cdot S_m$
A 级/ B 级	$(P_L+P_b+Q)_r^{(1)}$	$3S_m$
	热棘轮比率	1
	累积使用因子	$U \leq 1$
B 级	P_m	$1.1S_m$
	P_L	$1.1 \alpha S_m$
	$P_m (P_L)+P_b$	$1.1 \alpha S_m$
C 级	P_m	所有载荷： $\text{Max}[1.2S_m, 1.0S_y]$
		铁素体钢- 仅受压： $\text{Max}[1.1S_m, 0.9S_y]$
	P_L	$\text{Max}[1.8S_m, 1.5S_y]$
	$P_m (P_L)+P_b$	$\text{Max}[1.8S_m, 1.5S_y]$
D 级	P_m	$S_m'^{(3)}$
	P_L	$1.5 S_m'^{(3)}$
	$P_m (P_L)+P_b$	$1.5 S_m'^{(3)}$

使用限制	应力分类	应力限制
试验	P_m	$0.9S_y$
	P_m+P_b	$1.35S_y$ (当 $P_m \leq 0.67 S_y$)
	P_m+P_b	$2.15S_y-1.2P_m$ (当 $0.67S_y < P_m \leq 0.9S_y$)
三向应力	$\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3$	$4S_m^{(4)}$
平均支承应力	支承应力	S_y
平均一次纯剪应力	纯剪应力	$0.6S_m$
断裂	K_I	K_{IR} (或 K_{IC}) ⁽⁵⁾

注1：下标r表示应力强度范围；

注2： α 为产生全塑性截面的载荷设定值与产生截面表层起始屈服的载荷设定值的比值；任何情况下， α 不超过1.5；

注3：对铁素体钢， $S_m' = 0.7S_u$ ；对奥氏体钢、高镍合金及铜镍合金， $S_m' = \min(2.4S_m, 0.7S_u)$ ；

注4：D级使用除外，C级使用限制取 $4.8S_m$ ；

注5：根据适用规范的要求使用 K_{IR} 或 K_{IC} ；

注6： P_m ：总体一次薄膜应力强度； P_L ：局部一次薄膜应力强度； P_b ：一次弯曲应力强度； Q ：二次应力强度； $(P_L+P_b+Q)_r$ ：一次加二次应力强度范围； σ_1 、 σ_2 、 σ_3 ：三个方向主应力。

表2 主螺栓在各使用限制下的应力限制

使用限制	应力分类	应力限制
设计 ⁽¹⁾	N/A	N/A
A、B级	平均应力	$2.0S_m$
	最大应力	$2.7S_m^{(3,4)}$
	疲劳累积因子	1
C级 ⁽²⁾	平均应力	$2.0S_m$
	最大应力	$2.7S_m$
D级	平均拉伸应力	$\min(0.7S_u, S_y)$
	最大拉伸应力	S_u
	平均剪切应力	$\min(0.42S_u, 0.6S_y)$
	组合应力 ⁽⁵⁾ $\frac{f_t^2}{F_{tb}^2} + \frac{f_v^2}{F_{vb}^2}$	1

注1：在主螺栓强度校核时考虑承受设计压力所需要的螺栓数量和横截面面积；

注2：C级应力限制和A/B级应力限制一样；

注3：当螺栓通过减少残余扭矩的方式预紧时；

注4：当采用两条设计疲劳曲线中的较高值，则由拉伸和弯曲引起的最大使用应力不得超过 $2.7S_m$ ；

注5： $F_{tb} = \min[1.2S_y, 0.7S_u]$ ， $F_{vb} = \min[1.23S_y, 0.7S_u]$ 。

6.3.5 分析方法

6.3.5.1 基本要求

反应堆压力容器各部件应根据规范等级进行应力分析,计算最可能产生失效的截面上的薄膜和弯曲等应力,并按T/CNEA XXXXX.2 《压水堆承压部件 设计与制造 第2部分:1级部件》的要求进行评估。

6.3.5.2 应力分析方法

6.3.5.2.1 一次应力

计算反应堆压力容器在压力、接管载荷等静态载荷作用下的一次应力强度时,根据部件的结构特点,采用理论计算、有限元静态分析或两者相结合的方法。分析过程中按各工况下的最大载荷组合方式对模型施加内压和外部接管载荷边界条件,并将计算得到的应力沿评定截面作线性化处理,得到一次应力强度。

6.3.5.2.2 二次应力

6.3.5.2.2.1 二次应力由热梯度、不同材料间热膨胀差别以及材料不连续处的结构相互作用所产生。这些应力与一次薄膜加弯曲各应力分量代数和相组合得到一次加二次应力强度范围。

6.3.5.2.2.2 对正常和异常工况(A/B级)下的一次+二次应力强度范围(P+Q) range 进行评定,控制一次+二次应力强度范围在 $3S_m$ 的设计准则之内。一次+二次应力强度范围若大于 $3S_m$ 的限值可以将热弯曲应力去除(分析方法参照 T/CNEA XXXXX.2 《压水堆承压部件 设计与制造 第2部分:1级部件》的简化弹塑性分析),若热弯曲应力去除后的一次+二次应力强度范围仍然超出 $3S_m$ 的限值,则需要进行塑性分析。

6.3.5.2.2.3 热棘轮效应是指承受恒定内压载荷的壳体当其内部流体发生冷热交替时,当结构的热应力值达到一定程度时结构将失去安定性,会发生棘轮长大效应。所有的 A/B 级工况下的载荷需要考虑热棘轮效应。

6.3.5.2.2.4 对于严重事故工况,如堆内熔融物滞留(IVR),需要对临界热流密度传热准则和反应堆压力容器下封头的结构完整性作出分析评定。

6.3.5.3 疲劳分析方法

6.3.5.3.1 疲劳分析应采用设计疲劳曲线法,使用正常、异常及试验工况下结构各评定截面的应力值得到各应力循环类型交变应力强度值,根据该交变应力强度值从设计疲劳曲线上查得对应的许用循环次数 N_i ,再将其与该类应力循环实际发生次数 n_i 对比,得到 n_i/N_i ,称为使用因子。当有 K 种应力循环类型时,累积使用因子 U 按下式(2)计算,若 $U \leq 1$,则认为该部位不会发生疲劳失效。

$$U = \sum_{i=1}^K \frac{n_i}{N_i} \dots\dots\dots (2)$$

6.3.5.3.2 对危急工况,当 S_m 值大于适用的疲劳设计曲线 106 次的对应值时,假想出现的总次数不得超过 25 次。若该工况的瞬态超过 25 次,则超过部分的应力循环次数应在异常工况的设计瞬态中加以考虑。

6.3.5.3.3 由于疲劳曲线的弹性模量(E_c)和实际材料的弹性模量(E_m)不同,应对疲劳曲线乘以修正因子进行调整。为保守起见,常采用设备的设计温度作为包络温度。修正因子取设计温度下实际材料弹性模量(E_m)和设计疲劳曲线弹性模量(E_c)的比值。

6.3.5.3.4 当交变应力超过材料屈服强度 S_y 时,需对由弹性为基础分析所得到的局部热应力进行修正。采用 (3) 式中修正的泊松比,且不小于 0.3。

$$\nu = 0.5 - 0.2(S_y/S_a) \dots\dots\dots (3)$$

6.3.5.3.5 如果薄膜加弯曲应力强度变化范围超过 $3S_m$ 的限值,需对其进行弹塑性修正 (K_e)。进行简化弹塑性分析后,当交变应力超过材料屈服强度时泊松比修正不作要求。

6.3.5.4 断裂分析方法

应在瞬态应力分析工作基础上进行断裂分析和评定,分析方法参照NB/T 20440。

6.3.5.5 密封分析方法

6.3.5.5.1 密封分析应关注反应堆压力容器上下法兰和螺栓联接结构之间的变形协调关系,螺栓内力的变化过程以及评价压力容器密封环的回弹量是否符合密封圈的性能参数。

6.3.5.5.2 密封圈需具有足够的储备回弹量。密封圈的储备回弹量宜大于 50% 以保证密封。

6.3.5.6 承压热冲击分析方法

承压热冲击的分析方法参照NB/T 20032。

6.3.5.7 地震载荷下反应堆压力容器结构反应分析

反应堆压力容器受到的地震载荷应由系统模型经时程分析或者反应谱分析后以机械载荷的形式提供给反应堆压力容器各部件,用于反应堆压力容器的应力分析和评定。

7 制造

7.1 通则

7.1.1 反应堆压力容器的制造应满足 T/CDEA XXXXX.2 《压水堆承压部件 设计与制造 第 2 部分: 1 级部件》的相关要求。

7.1.2 反应堆压力容器的制造应符合本部分的规定和设计文件的要求。

7.1.3 制造单位对原设计的修改以及对受压元件的材料代用,应当事先取得原设计单位的书面批准,并在竣工图上做详细记录。

7.1.4 反应堆压力容器的表面处理,包括磷化、镀铬等应满足相关国家标准、行业标准。

7.1.5 对焊缝进行打磨或清洁时,应注意防止破坏反应堆压力容器表面的焊缝标识。

7.1.6 所有焊缝和堆焊层的最终表面,在不需要进一步的打磨和修整的情况下,应满足进行自动化在役检查的要求。最终堆焊层内表面粗糙度应为 Ra3.2 或更好。

7.1.7 禁止对所有与冷却剂接触的镍-铬-铁合金进行酸洗。

7.2 机加工

7.2.1 图纸中未注明公差尺寸应根据设计文件的规定加工。

7.2.2 最终热处理后的氧化层宜采用打磨的方法去除,注意控制打磨深度,保证筒体、封头壁厚在图纸要求的公差范围内。

7.2.3 精加工后的工件表面应采取必要的支承、保护措施,加工面不允许有锈蚀和影响性能、寿命或外观的磕碰划伤等缺陷。除设计文件规定的刻线和标识外,成品件表面不允许有其它刻线及钢印。

- 7.2.4 加工后的零件不允许有毛刺，除产品图样或设计文件有要求外，不允许有尖棱、尖角。零件图样中未注明倒角时，应按图 1 和表 3 规定倒角，非回转体类零件的倒角参照表 3 执行。主参数 $D(d)$ 取倒角相邻两几何要素中较短者。
- 7.2.5 机加工过程中，应充分考虑应力变形，成品件的残余应力引起的变形量，应控制在图纸规定的公差范围内。
- 7.2.6 机加工使用的切削液应符合本标准 7.7 节的要求。
- 7.2.7 气割和氧气切割等热加工操作后，对于合金钢、不锈钢以及镍基材料，应使用机械方法去除包括热切割产生的热影响区与/或氧化层在内足够厚度材料。

表3 未注倒角尺寸 mm

D (d)	≤100	>100-1000	>1000
C	0.3-0.5	0.5-2	2-3

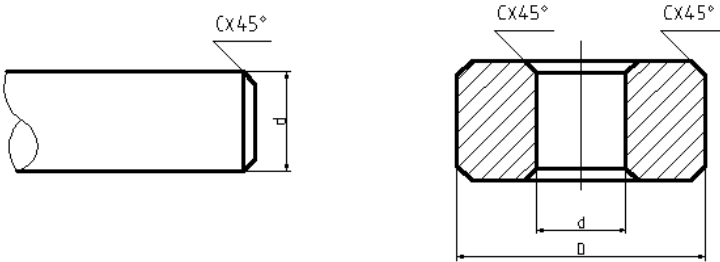


图1 未注倒角加工示意图

7.3 成形、装配与对中

- 7.3.1 成形工艺不应使材料的性能降至低于要求的最小值。必要时应在成形后进行热处理以恢复材料的性能。
- 7.3.2 要求进行冲击性能试验的材料，进行冷热成形或冷热弯曲时，成型或弯曲工艺的评定应满足 T/CDEA XXXXX.2 《压水堆承压部件 设计与制造 第2部分：1级部件》的要求。
- 7.3.3 排气管及检漏管等的弯管应采用评定合格的工艺进行弯管。弯管应采用与制造工艺评定试件相同类型的弯管机、相同规格的胎具，并在同一制造车间进行。弯管时采用根据管子直径和厚度选择的弯管工艺，应使工件的圆度偏差和厚度减薄量都保持在设计文件要求的范围内。
- 7.3.4 采用焊接连接的零部件，在施焊时，可用芯棒、千斤顶、夹具、定位焊或临时性附件在应有位置上进行装配、对中和定位。装配过程应注意控制，不得野蛮强力装配。最终焊接接头的最大错边量应满足 T/CDEA XXXXX.2 《压水堆承压部件 设计与制造 第2部分：1级部件》的要求。

7.4 焊接

7.4.1 通用要求

- 7.4.1.1 所有部件及其附件的焊接应满足本通用标准和 T/CNEA XXXXX.1 《压水堆承压部件 焊接 第1部分：焊接通用要求》、T/CNEA XXXXX.3 《压水堆承压部件 焊接 第3部分：产品焊接》的相关要求。

7.4.1.2 制造单位为首次进行压水堆核电厂反应堆压力容器制造时，需进行焊接模拟件制备，如顶盖贯穿件的焊接模拟件。具体要求由设计文件规定。

7.4.1.3 对于压力边界焊缝，禁止使用碳弧气刨方式清根。

7.4.2 焊接工艺评定和焊工技能评定

7.4.2.1 焊接工艺评定和焊工技能评定应满足以下要求：

- a) 所有安全级部件及其附件焊接的焊工或焊接操作工应取得相应资格证书。所有非安全级部件及其附件焊接的焊工或焊接操作工资格可由设计单位或制造商自行规定；
- b) 所有焊缝（包括堆焊）的焊接工艺评定应符合 T/CNEA XXXXX.2 《压水堆承压部件 焊接 第2部分：焊接工艺评定》的要求；
- c) 反应堆压力容器堆芯区焊缝应采用相同的焊接工艺，其中同一焊接方法应采用相同批号的焊接材料。

7.4.3 返修

7.4.3.1 在压力边界和可接近的非压力边界材料上的弧击应去除，并且打磨平滑。打磨区域的厚度不应小于设计要求的厚度。打磨后，需对压力边界材料的打磨区域应进行液体渗透或磁粉检测；对于非压力边界的打磨区域应使用 10 倍放大镜进行目视检测。

7.4.3.2 不影响材料最小厚度要求的刻痕、沟槽、划痕、冲孔标记等，应机械修正。

7.4.3.3 焊缝同一位置允许返修两次。对于超过上述规定次数的焊缝返修，应事先取得设计单位的认可。

7.4.3.4 返修后，应按照返修部位原无损检验要求对返修部位进行检验。

7.5 热处理

7.5.1 反应堆压力容器热处理应满足本通用标准和 T/CNEA XXXXX.3 《压水堆承压部件 焊接 第3部分：产品焊接》的相关要求。

7.5.2 对低合金钢材料的焊接以及低合金钢材料上的不锈钢及镍基合金堆焊，应在焊前进行预热，预热温度至少应为 121℃。除非满足下面 a)~c) 条款要求，焊接过程以及焊接结束至中间或最终焊后热处理前，应保持预热温度：

- a) 焊后，焊缝/堆焊层应进行后热消氢处理；
- b) 对于不锈钢及镍基合金堆焊：当采用手工电弧焊（SMAW）和钨极氩弧焊（GTAW），已熔敷的堆焊层厚度至少为 3.2mm；当采用多丝、带极、或其它高热输入的自动焊接方法，已焊接第 1 层和第 2 层并且已熔敷的堆焊层厚度至少为 5mm；
- c) 在将温度降低到室温前，应去除焊剂围坝、引弧和收弧板、以及其它引起应力集中的因素。

7.5.3 对所有低合金钢、不锈钢和镍-铬-铁合金焊缝，应严格控制道间温度，具体由设计文件规定。

7.5.4 焊后热处理的保温温度和保温时间要求由设计文件规定。

7.5.5 反应堆压力容器的制造中，宜进行整体焊后热处理，无法进行整体焊后热处理时，可进行局部焊后热处理。

7.6 见证件

7.6.1 基本要求

反应堆压力容器承压锻件母材及焊缝应设置见证件/见证试板，以便检验最终热处理后的母材及焊缝的最终性能。

7.6.2 母材见证件

7.6.2.1 堆芯区锻件应设置母材见证件，母材见证件应在锻件性能检验合格后在堆芯区锻件的本体或延长段切取，见证件材料的制备方案应先得到设计单位的认可。见证件材料应与各自代表的锻件同炉热处理。

7.6.2.2 母材见证件的试验项目、试样形式、试验方法和试样数量应满足 T/CDEA XXXXX.4 《压力容器用经真空处理的淬火加回火碳钢和合金钢锻件》中的各项试验（除 T0 试验）的相关要求。

7.6.3 焊接见证件

7.6.3.1 反应堆压力容器焊接见证件应满足本标准和 T/CNEA XXXXX.3 《压水堆承压部件 焊接 第3部分：产品焊接》中的相关规定，焊接见证件的具体设置、试验项目和要求由设计文件进行规定。

7.6.3.2 根据反应堆压力容器各部分的结构、材料及焊接工艺，推荐可设置以下产品焊接见证件：

- a) 堆芯区低合金钢环焊缝焊接见证件；
- b) 非堆芯区低合金钢环焊缝焊接见证件；
- c) 接管和接管段（如有）焊接见证件；
- d) 接管安全端焊缝焊接见证件；
- e) 顶盖 J 形坡口焊缝焊接见证件；
- f) 不锈钢带极堆焊焊接见证件；
- g) 不锈钢焊条电弧焊堆焊焊接见证件；
- h) 镍基合金堆焊焊接见证件。

7.6.3.3 用于产品焊接见证件的焊接材料、焊接设备、焊接工艺、坡口形式、无损检验和焊后热处理应与所代表的产品焊缝相同。

7.6.3.4 见证件材料应取自其代表的相应锻件材料的延长部分。制造单位如果采用单独的锻件应有充足的理由详细说明，并得到设计单位的书面认可。

7.7 污染预防

7.7.1 在制造过程中，应避免材料受到污染，污染预防应按 NB/T 20233 的有关要求执行。

7.7.2 可采用磨削、刷除或喷砂等机械方法去除表面氧化皮或有害杂质。对工件表面的磨削和刷除应保证对工件的表面质量不造成损伤。磨削时应避免工件的局部过热。与冷却剂接触的反应堆压力容器筒体和顶盖最终表面禁止进行喷砂处理。

7.7.3 在不锈钢及镍基合金零件采购、加工、检查、焊接、热处理、装配、包装等阶段中的清洁操作环节及清洁后严禁使用含有有害化学元素的物品，并防止外来物对零件表面造成污染。

7.7.4 制造过程中与工件表面接触的工艺装备（包括焊接时的固定夹子、密封试验的密封堵、包装时的定位工具等）可采用不锈钢材质，如操作需要与铁素体工辅具接触，应有隔离措施以避免铁素体材料对产品造成的污染。

7.8 无损检验

7.8.1 总体要求

反应堆压力容器材料、制造过程中以及水压试验后的无损检验应符合 T/CDEA XXXXX.2 《压水堆承压部件 设计与制造 第2部分：1级部件》、本标准第2章引用的相关无损检验规范以及本标准的要求。

7.8.2 体积检验

7.8.2.1 射线检测

7.8.2.1.1 射线检测应符合 T/CDEA XXXXX.3 《压水堆承压部件 无损检测 第3部分：射线检测》及本标准的规定。

7.8.2.1.2 所有承压边界的全焊透焊缝应在最终焊后热处理后进行射线检测，检验范围应包括焊缝及其热影响区，包括但不限于以下焊缝：

- a) 低合金钢全焊透主焊缝；
- b) 冷却剂接管与反应堆压力容器筒体间的全焊透焊缝；
- c) 冷却剂接管安全端焊缝；
- d) 顶盖贯穿件上的全焊透焊缝。

7.8.2.2 超声检测

超声检测应符合 T/CDEA XXXXX.2 《压水堆承压部件 无损检测 第2部分：超声检测》及以下的规定：

- a) 下列焊缝（包括热影响区以及 T/CDEA XXXXX.2 《压水堆承压部件 设计与制造 第2部分：1级部件》要求的临近母材区域）在焊接完成后或中间焊后热处理完成后以及最终焊后热处理（如要求进行焊后热处理）后进行超声检测：
 - 1) 低合金钢材料上的全焊透环形（包括封头上的）焊缝；
 - 2) 冷却剂接管和反应堆压力容器筒体间的全焊透焊缝；
 - 3) 冷却剂接管和安全端之间的焊缝；
 - 4) 冷却剂接管的内表面堆焊层和接管伸出段堆焊成形结构（如有）；
- b) 所有的不锈钢堆焊层应检验堆焊层的结合性，压力边界和受载区域的堆焊成形结构、隔离层堆焊应检验未熔合、堆焊层内以及母材热影响区。

7.8.3 表面检验

7.8.3.1 目视检测

目视检测应符合 T/CDEA XXXXX.7 《压水堆承压部件 无损检测 第7部分：目视检测》及以下的规定：

- a) 检漏管与筒体若采用 J 形坡口焊缝连接，J 形坡口焊缝的首层及最终表面应打磨并且做目视检测，去除所有残留和焊渣。应符合 T/CDEA XXXXX.7 《压水堆承压部件 无损检测 第7部分：目视检测》的要求；
- b) 顶盖相关零件，和它们的焊缝都要做目视检测。应符合 T/CDEA XXXXX.7 《压水堆承压部件 无损检测 第7部分：目视检测》的要求；
- c) 顶盖贯穿件表面不能有缺陷（例如：裂缝、凹坑、压痕、擦痕等）和有害的材料状况（例如：残渣、污点和表面变色）；
- d) 所有螺纹应对其完整的螺纹形状和表面进行目视检测。应符合 T/CDEA XXXXX.7 《压水堆承压部件 无损检测 第7部分：目视检测》的要求。

7.8.3.2 磁粉检测

磁粉检测应符合 T/CDEA XXXXX.5 《压水堆承压部件 无损检测 第5部分：磁粉检测》及以下的规定：

- a) 锻件在最终机加工后应进行磁粉检测；
- b) 所有焊缝在最终热处理后应进行磁粉检测（如材料或尺寸不适合进行磁粉检测，可使用液体渗透检测）；
- c) 主螺栓、螺母等紧固件在开螺纹前和螺纹加工后应进行磁粉检测或渗透检测；
- d) 附件与反应堆压力容器的焊缝在焊接过程中应按设计文件的要求进行磁粉检测，包括但不限于吊耳与顶盖的焊缝、密封凸台与筒体的焊缝，支撑凸台与反应堆压力容器的焊缝；

- e) 待焊表面和焊缝坡口均应进行磁粉检测（如材料或尺寸不适合进行磁粉检测，可使用液体渗透检测）；
- f) 所有承压边界焊缝以及附件与反应堆压力容器的焊缝在清根或打磨后应对清根处以及焊缝最终表面进行磁粉检测（如材料不适合进行磁粉检测，可使用液体渗透检测）。

7.8.3.3 液体渗透检测

液体渗透检测应符合T/CDEA XXXXX.4 《压水堆承压部件 无损检测 第4部分：渗透检测》及以下的规定：

- a) 液体渗透材料（渗透剂和显像剂）中氟加氯的含量及硫的含量均不能高于 NB/T 20233 规定数值；
- b) 非铁磁性材料焊缝在最终机加工后应进行液体渗透检测；
- c) 贯穿件与反应堆压力容器间的部分焊透焊缝（J形坡口焊缝，包括内部延伸段）、非磁性材料附件与反应堆压力容器间的焊缝应根据设计文件的要求在焊接过程中进行液体渗透检测，包括但不限于以下焊缝：
 - 1) CRDM 贯穿件与顶盖的 J 形焊缝；
 - 2) 放气管贯穿件与顶盖的 J 形焊缝；
 - 3) 检漏管与筒体之间的 J 形焊缝；
 - 4) 堆芯支承块焊缝；
- d) 放气管、检漏管等在弯管后应进行液体渗透检测。

7.8.4 水压试验后的无损检验

水压试验后的验收标准应符合T/CDEA XXXXX.2 《压水堆承压部件 设计与制造 第2部分：1级部件》规定，同时还应满足以下要求：

- a) 在 7.8.2.2 节 a)规定的焊缝（包括热影响区以及在役和役前检查要求的临近母材区域）在水压试验后应按 T/CDEA XXXXX.2 《压水堆承压部件 设计与制造 第2部分：1级部件》的要求再次进行检验；
- b) 最外侧可达的 CRDM 异种金属全焊透焊缝应在水压试验后应进行超声检测；
- c) 所有压力容器筒体和顶盖内表面以及所有不锈钢堆焊层表面在水压试验后应进行液体渗透检测；
- d) 水压试验后应对压力容器外表面和顶盖的外表面（在可达区域）进行磁粉检测；
- e) 所有承压边界铁素体焊缝及热影响区，当可达时在水压试验后应进行磁粉检测；
- f) 制造过程中进行的修补，按照 T/CDEA XXXXX.2 《压水堆承压部件 设计与制造 第2部分：1级部件》需要进行的表面和体积检验在水压试验后应再次进行。

7.8.5 顶盖贯穿件的特殊无损检验

顶盖贯穿件在水压试验后应按附录E的要求进行无损检验。

7.9 水压试验

7.9.1 总体要求

7.9.1.1 反应堆压力容器水压试验应满足 T/CDEA XXXXX.2 《压水堆承压部件 设计与制造 第2部分：1级部件》及本标准的要求。

7.9.1.2 水压试验的场地应设置在制造单位的车间内，并对其进行封闭，设置非试验人员禁入的标志。

7.9.1.3 制造单位应保证水压试验系统和给水循环系统的设备齐全，性能良好，且在系统上应安装超压保护装置。

7.9.1.4 水压试验前，制造单位应对反应堆压力容器的内、外表面进行清洁和清洁度检查，不允许有任何油漆痕迹、划线或者液体渗透检测用物的痕迹、润滑油脂痕迹和冷凝水迹。

7.9.1.5 水压试验时，反应堆压力容器应保持竖直状态。

7.9.1.6 顶盖 CRDM 贯穿件在安装到反应堆压力容器前是否需要单独进行水压试验应满足设计文件的规定。

7.9.2 试验介质

7.9.2.1 水压试验及最终清洗用水水质应符合 NB/T 20233 中 A 级水要求。

7.9.2.2 试验用水水质应以正式试验充水前 24 小时内的取样分析结果为准，并提供其水质报告。

7.9.3 压力表

7.9.3.1 压力表应为直读式，压力表的精确度等级不宜低于 0.4 级（即基本误差 $\pm 0.4\%$ ）。

7.9.3.2 水压试验用压力表应设置于垂直位置。

7.9.4 试验压力

反应堆压力容器水压试验的试验压力应满足 T/CDEA XXXXX.2 《压水堆承压部件 设计与制造 第2部分：1级部件》的要求。

7.9.5 试验温度

水压试验的最低试验温度为最高 $RT_{NDT}+33^{\circ}\text{C}$ ，其中最高 $RT_{NDT}+33^{\circ}\text{C}$ 为所有承压边界材料 RT_{NDT} 的最大值，应确保试验过程中压力边界材料及主螺栓的温度不低于最低试验温度。

7.9.6 升压、降压速率

水压试验升压或降压时，应注意严格控制升、降压速率，避免升、降压速率过大损伤设备。升、降压速率不应超过 1.0MPa/min 。

7.9.7 超压保护

水压试验时应按 T/CDEA XXXXX.2 《压水堆承压部件 设计与制造 第2部分：1级部件》的要求设置超压保护装置。

7.9.8 检查

7.9.8.1 外观检查

7.9.8.1.1 出厂水压试验前，检漏管应进行单独的水压试验，试验应在检漏管组件安装至筒体前进行。

7.9.8.1.2 在试验前、试验中和压力降至零以后，都应进行外观检查。检查重点部位包括：焊缝、接管和内、外密封环密封处周围。

7.9.8.2 压力检查

在整个水压试验过程中，对水压试验压力应进行实时检查并记录。检查期间，压力应保持不变。

7.9.8.3 温度检查

在整个水压试验过程中，对温度进行定时监测，测量位置、时间间隔和测量的温度均应记录。温度需满足7.9.5节试验温度的要求。

7.9.8.4 疏水及干燥

水压试验合格后，应将水排尽并根据NB/T 20233的要求对其进行清洁和烘干。

7.10 标识与标记

7.10.1 反应堆压力容器的制造过程及制造完成后的标识与标记应满足 T/CDEA XXXXX.2 《压水堆承压部件 设计与制造 第2部分：1级部件》的要求。

7.10.2 反应堆压力容器承压边界焊缝，如筒体对接焊缝、接管与筒体的焊缝、接管与安全端的焊缝应按照 T/CDEA XXXXX.2 《压水堆承压部件 设计与制造 第2部分：1级部件》 及设计文件的要求进行中心线标记。中心线标记应使用低应力印记。

7.11 铭牌

7.11.1 供应商应根据 T/CDEA XXXXX.2 《压水堆承压部件 设计与制造 第2部分：1级部件》提供标准铭牌。顶盖和容器筒体上应分别附上不同铭牌。（删除）

7.11.2 容器筒体和顶盖的铭牌应为不锈钢材质，分别安装在容器筒体法兰和顶盖法兰上。

7.11.3 反应堆压力容器铭牌应至少包含以下内容：

- a) 设备名称；
- b) 制造单位名称；
- c) 制造许可证编号；
- d) 产品标准；
- e) 主体材料；
- f) 设计压力；
- g) 设计温度；
- h) 水压试验压力；
- i) 制造日期。

7.12 清洁、包装、运输与贮存

7.12.1 清洁

7.12.1.1 清洁度的控制

所有材料和反应堆压力容器零部件在制造过程中应按照NB/T 20233的要求保持清洁。

7.12.1.2 清洁方法

7.12.1.2.1 制造过程中各阶段所产生表面氧化皮或有害杂质，采用打磨、抛光、刷除或喷射的方式去除。

7.12.1.2.2 不锈钢及镍基合金表面的打磨、抛光应避免被铁素体钢污染，可采用铝基、碳化硅或金钢石无铁材料，且必须专用。磨削时应避免工件产生局部过热现象。

7.12.1.2.3 当用砂轮打磨碳钢表面时，应采取预防措施来防止临近的不锈钢及镍基合金表面被打磨时的喷射颗粒所污染。

7.12.1.2.4 容器表面及周围环境因打磨抛光形成的铁屑、颗粒应及时清理干净。

7.12.1.3 去污剂

采用无水乙醇、丙酮等易挥发的有机溶剂对容器表面进行清理。不应使用含卤素化合物的去污剂。

7.12.1.4 最终清洁

反应堆压力容器最终内、外表面应按照NB/T 20233的要求进行清洁。

最终清洁水质应满足NB/T 20233中规定的A级水要求。

7.12.2 包装

7.12.2.1 总体要求

7.12.2.1.1 反应堆压力容器的包装应满足 NB/T 20408 的要求。

7.12.2.1.2 包装应使顶盖和容器筒体内部与周围环境相隔绝，避免氧气进入。海上运输时，密封必须保护所有的容器筒体和顶盖表面使其不暴露在盐雾环境中。

7.12.2.2 包装装置

7.12.2.2.1 包装装置主要包括顶盖组件包装装置、筒体组件包装装置及紧固密封组件、专用工具、备品备件等其它包装装置。

7.12.2.2.2 顶盖组件包装装置：顶盖组件采用敞装包装形式，CRDM 管座、堆测接管、排气管组件密封后安装保护罩保护，防止其在吊装和运输过程中受到损伤。

7.12.2.2.3 筒体组件包装装置：容器组件采用敞装包装形式，筒体密封面用密封盖板组件保护，检漏管、进、出口接管密封并做好保护，防止其在吊装和运输过程中受到损伤。

7.12.2.2.4 其它组件包装装置：紧固密封件、专用工具、备品备件、试料及档案材料的包装采用箱装模式，并放入适量干燥剂。

7.12.2.2.5 容器筒体组件和顶盖组件内表面需充氮气等惰性气体进行保护，充气在运输和贮存过程中不应低于 1.4kPa。

7.12.2.3 最终清洗

反应堆压力容器包装前对其进行最终清洗，采用NB/T 20233规定的A级水进行最终清洗后，应立即检查洗涤用水的PH值和电导率，当水质稳定在A级水质允许的范围内时，洗涤即告完成。

7.12.2.4 包装材料

包装中所用的材料、工具、绳索等应符合防污染规则的要求，不污染、腐蚀设备，严禁铁素体物质接触奥氏体不锈钢，且仪器和仪表中含有的水银不应与反应堆压力容器直接接触。

7.12.2.5 包装标识

反应堆压力容器包装标识按GB/T 191的规定，至少应包含以下内容：

- a) 设备质量、重心及起吊点；
- b) 防雨、防潮等标识；
- c) 禁焊标识；
- d) 防撞标识；
- e) 充氮标识。

7.12.3 运输

反应堆压力容器的运输应满足NB/T 20408、设计文件以及以下要求：

- a) 容器筒体组件及顶盖组件在运输过程中应避免出现突然加速等情况，推荐安装加速度仪进行跟踪监测，且容器筒体组件及顶盖组件各配备一个备用加速度仪，防止出现故障或其他意外致使记录失效；
- b) 容器筒体组件和顶盖组件内表面需充氮气等惰性气体进行保护，并应按时监测，一经发现气体压力低于 7.12.2.2.5，应进行补压。

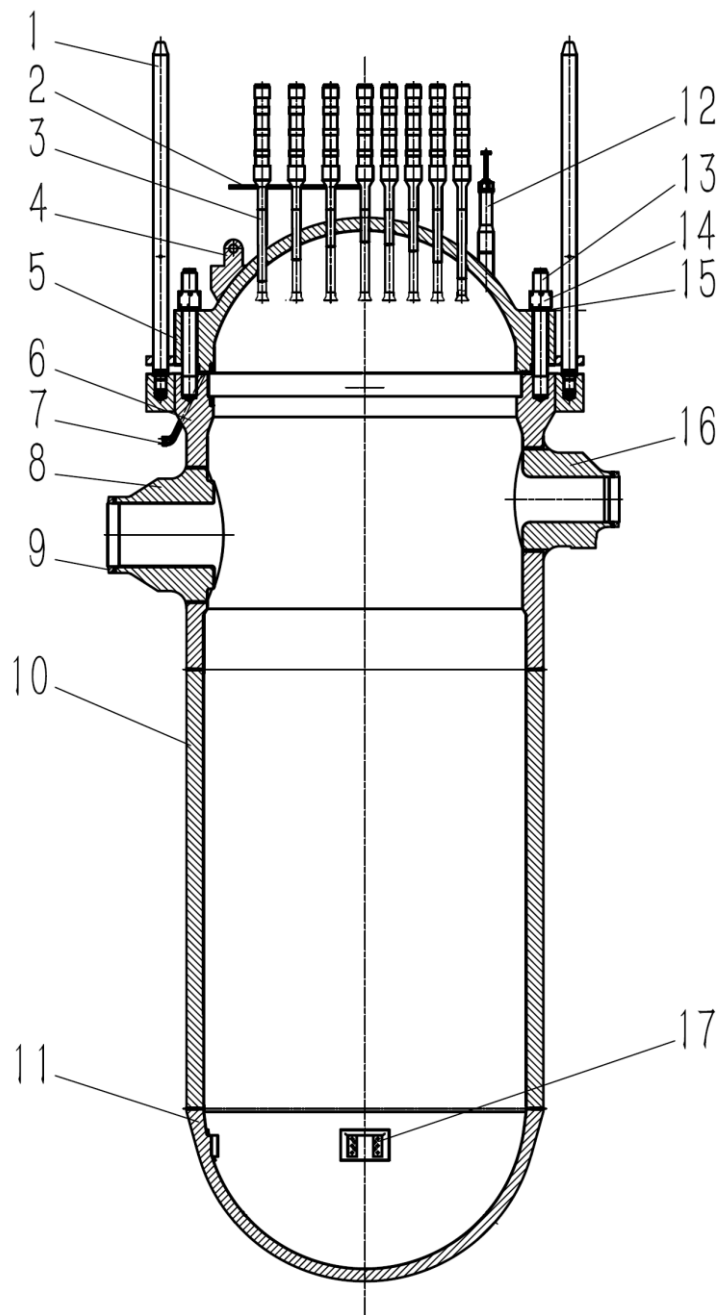
7.12.4 贮存

反应堆压力容器的贮存应满足 NB/T 20408、设计文件以及以下要求：

- a) 所有的包装箱应存放在清洁、干燥、通风的库房内，存放区为符合标准和设计文件规定的存放区，并采取有效的保护措施；
- b) 存放期间应防止有害物质侵入和污染包装箱中的反应堆压力容器物项；
- c) 不得在存放包装箱的位置上方吊装或叠放其他物项；
- d) 存放期间应使压力容器各部件处于良好的防护和保养状态，对所充的氮气应定期测压和充气，一经发现气体压力低于 7.12.2.2.5，应进行补压；
- e) 除非进行检查，否则已做好防护和保养的压力容器在存放期间必须维持原始状态；
- f) 检查后，必须恢复设备的防护和包装。

附 录 A
(资料性附录)
典型反应堆压力容器主要零部件

压水堆核电站典型的反应堆压力容器和主要零部件参见图A. 1和表A. 1。



图A. 1 典型反应堆压力容器示意图

表A.1 典型反应堆压力容器零部件

序号	名称	序号	名称
1	导向栓	10	堆芯区筒身段
2	放气管	11	底封头
3	控制棒驱动机构贯穿件	12	堆芯测量仪表接管
4	吊耳	13	主螺栓
5	顶盖	14	主螺母
6	接管段	15	主螺栓垫圈
7	检漏管	16	冷却剂进口接管
8	冷却剂出口接管	17	堆芯支撑块
9	接管安全端		

附 录 B
(资料性附录)
反应堆压力容器推荐母材

表B.1列出了反应堆压力容器主要零部件推荐的适用材料，材料的性能见T/CDEA XXXXX.8 《压水堆承压部件 设计与制造 第8部分：辅助规则》附录A。

表B.1 反应堆压力容器主要零部件推荐的适用材料

零部件名称	材料	材料专篇技术条件
堆芯区和非堆芯区部件	13MnNiMo	T/CNEA XXXXX.4 《压力容器用经真空处理的淬火加回火碳钢和合金钢锻件》
安全端	022Cr17Ni13Mo2N	T/CNEA XXXXX.15 《高温用锻制或轧制合金钢和不锈钢公称管道法兰、锻制管配件、阀门和零件》
主螺栓	41CrMnMoNi	T/CNEA XXXXX.28 《特殊用途合金钢螺栓连接材料》
主螺栓螺母	41CrMnMoNiM	
主螺栓垫圈	41CrMnMoNiM	
堆芯支承块和控制棒驱动机构顶盖贯穿件等	NS3105	T/CNEA XXXXX.39 《镍-铬-铁合金杆材、棒材和线材》
检漏管等	022Cr17Ni13Mo2N	T/CNEA XXXXX.34 《高温中央电站用无缝奥氏体钢公称管》
放气管等	NS3105	T/CNEA XXXXX.36 《镍-铬-铁无缝合金管》
堆测接管等	06Cr19Ni10	T/CNEA XXXXX.15 《高温用锻制或轧制合金钢和不锈钢公称管道法兰、锻制管配件、阀门和零件》

附 录 C
(资料性附录)
反应堆压力容器推荐焊接材料

表C.1列出了反应堆压力容器主要焊缝推荐的适用焊接材料。

表C.1 反应堆压力容器用焊接材料推荐

编号	焊缝类别	焊接材料型号	标准草案编号和名称
1	低合金钢环焊缝及堆焊成形结构等	E5515-G、E5516-G、E5518-G、E6215-G、E6216-G、E6218-G	T/CNEA XXXXX. 16 《压水堆承压部件焊接 第16部分：低合金钢手工电弧焊焊条》
		S55PX-SUN1M3、S55PX-SU4M32、S55PX-SUG	T/CNEA XXXXX. 15 《压水堆承压部件焊接 第15部分：埋弧焊用低合金钢焊丝和焊剂》
		ER55-D2、ER55-G、ER62-D2 和 ER62-G	T/CNEA XXXXX. 17 《压水堆承压部件焊接 第17部分：低合金钢气体保护焊焊丝》
2	容器及接管内壁不锈钢堆焊	E308L、E309L	T/CNEA XXXXX. 5 《压水堆承压部件焊接 第5部分：不锈钢手工电弧焊焊条》
		ER308L、ER309L	T/CNEA XXXXX. 6 《压水堆承压部件焊接 第6部分：不锈钢焊丝》
		EQ309L、EQ308L 及焊剂	T/CNEA XXXXX. 7 《压水堆承压部件焊接 第7部分：不锈钢堆焊用焊带和焊剂》
3	异种金属连接焊缝（包括隔离层堆焊）	ENi6182、ENi6152	T/CNEA XXXXX. 9 《压水堆承压部件焊接 第9部分：镍基合金手工电弧焊焊条》
		EQNiCrFe-7、EQNiCrFe-7A 和 EQNiCrFe-14 及焊剂	T/CNEA XXXXX. 10 《压水堆承压部件焊接 第10部分：镍基合金堆焊用焊带和焊剂》
		SNi 6082 、SNi 6052 和 ERNiCrFe-7A	T/CNEA XXXXX. 11 《压水堆承压部件焊接 第11部分：镍基合金焊丝》
4	碳钢焊缝（如有）	E5015-G、E5016-G、E5018-G	T/CNEA XXXXX. 12 《压水堆承压部件焊接 第12部分：碳钢手工电弧焊焊条》
		ER50-3 和 ER50-6	T/CNEA XXXXX. 13 《压水堆承压部件焊接 第13部分：碳钢气体保护焊焊丝》

附 录 D
(资料性附录)
反应堆压力容器载荷组合

表D. 1、D. 2给出了供参考的反应堆压力容器载荷组荷及相关载荷术语描述。

表D. 1 反应堆压力容器载荷组合

使用限制（工况）	载荷组合
设计	$P + DW + DML + XL$
工况A（正常）	$PMAX + DW + XL$ $PMAX + DW + DN + XL$
工况B（异常）	$PMAX + DW + DU + XL$
工况C（危机）	$PMAX + DW + DE + XL$ $PMAX + DW + DY + HYDSP + XL$
工况D（事故）	$PMAX + DW + DF + XL$ $PMAX + DW + SRSS(SL-2 + DBPB) + XL$ $PMAX + DW + RVOS + SL-2 + XL$ $PMAX + DW + DYS + DBPBS + SRSS(SL-2 + DY + HYDSP) + XL$

表D. 2 载荷术语

载荷	描述
P	设计内压
PMAX	峰值压力
DW	自重
DML	设计机械载荷（DW除外）。包括A级工况载荷和B级工况中的RVOS载荷
XL	外部机械载荷，例如管道系统产生于管嘴的反作用力，应在载荷组合公式中与其它载荷进行组合
SL-2	极限安全地震
RVOS	泄压阀/安全阀——开式系统（稳态）
DY	与各种工况关联的动态载荷，包括适用的FV，RVC和RVOT（瞬态）
DN	与A级工况关联的动态载荷，包括适用的FV，RVC和RVOT（瞬态）
FV	阀门快速关闭

RVC	泄压阀/安全阀——闭式系统（瞬态）
RVOT	泄压阀/安全阀——开式系统（瞬态）
DU	与B级工况关联的动态载荷，包括适用的FV，RVC和RVOT（瞬态）
DE	与C级工况关联的动态载荷，包括适用的FV，RVC和RVOT（瞬态）
DF	与D级工况关联的动态载荷，包括适用的FV，RVC和RVOT。在该工况下或之后，被评价的管道系统必须保持完好。包括假想管道破裂事故（瞬态）
DYS	与各种工况（稳态）关联的动态载荷
TH	各种运行工况下的热载荷
HTDW	水压试验静载荷
DBPB	设计基准管道破裂，包括LOCA和非LOCA（瞬态）
LOCA	丧失冷却剂事故
HYDSP	由于自动降压系统鼓泡器排放产生的厂房结构运动
DBPBS	设计基准管道破裂，包括LOCA和非LOCA（稳态）

附 录 E
(规范性附录)
顶盖贯穿件无损检验要求

E.1 概述

本附录规定了顶盖贯穿件的特殊无损检验要求，包括检验范围、检验方法、检验时机及验收准则。

E.2 检验范围

E.2.1 顶盖贯穿件以及它们的J形坡口焊缝应进行涡流检测、液体渗透检测、超声检测和目视检测。

E.2.2 应在每个贯穿接管可以接近的与冷却剂接触表面和它们的J形坡口焊缝、以及贯穿接管与顶盖母材之间接口处的顶盖外表面进行目视检测。焊缝外表面的目视检测须包括距离接缝至少25.4mm的顶盖母材和12.7 mm的贯穿接管母材以及两种母材间的接缝。

E.2.3 每个贯穿件的J形坡口焊缝（至少还应包括顶盖和贯穿接管与焊缝上距离焊缝12.7 mm的母材）应过量行液体渗透检测。

E.2.4 每个贯穿接管的应从内侧对贯穿件的内表面进行渗透检测或涡流检测，检验范围至少为J形焊缝最高点往上38mm到J形焊缝最低点往下38mm（或贯穿件的端部）。

E.2.5 每个贯穿接管的应从内侧对J形坡口焊缝至贯穿件接管的断面进行超声检测，并验明夹杂、未熔合等焊接缺陷，并且提供接管母材和过盈配合区域的基线基准。检验范围至少为J形焊缝最高点往上38 mm到J形焊缝最低点往下38mm（或贯穿件的端部）。

E.3 检验方法

反应堆压力容器顶盖贯穿件及焊缝应按本标准第2章相应的无损检验技术规范相应要求进行无损检验。

E.4 检验时机

本附录要求的特殊无损检验应在水压试验后进行。

E.5 验收准则

E.5.1 任何不符合E.5.7节要求的接触冷却剂的贯穿件表面、J形坡口焊缝和它们的热影响区的液体渗透检测的显示应进行返修。

E.5.2 所有贯穿件内表面的轴向缺陷都应进行返修。

E.5.3 所有外表面的缺陷，无论缺陷是什么方向（轴向或环向）的，都应进行返修。

E.5.4 所有内径的周向的缺陷都应进行返修。

E.5.5 作为E.5.2节要求的补充，所有检验J形坡口焊缝和它们的热影响区（或者毗连母材）得到的显示都要记录并处理。

E.5.6 J形坡口焊缝以下的顶盖贯穿件显示应满足以下的验收准则：

- a) 顶盖贯穿件的可达表面上通过液体渗透试验发现的所有显示都应记录并处理;
- b) 贯穿件/接管内部通过涡流检测发现的轴向和周向缺陷都应记录并处理。

E. 5. 7 对于冷却剂接触的顶盖贯穿件、J形坡口焊缝和它们的热影响区、以及CRDM异种金属焊缝的液体渗透检测的验收准则应为:

- a) 只有主尺寸大于 0.8mm 的显示才被认为是相关显示;
 - b) 对 a) 中定义的相关显示, 下列显示是不可接受的:
 - 1) 任何裂纹或线形显示;
 - 2) 尺寸大于 1.6mm 的圆形显示;
 - 3) 同一直线上分布的四个或四个以上, 且边缘之间距离小于等于 1.6mm 的圆形显示;
 - 4) 在任何最大主尺寸不超过 152mm, 面积不超过 3870 mm² 表面上有十个或以上的圆形显示, 并且该区域包含两个对显示评估最不利的位置。
-