ICS 点击此处添加ICS号

CCS点击此处添加中国标准文献分类号

**T/CNS**

中国核学会团体标准

T/CNS XXXX—XXXX

|  |
| --- |
|  |

高温气冷堆核动力厂燃料装卸系统

堆芯卸料装置技术要求

Technical requirements for unloading device of fuel elements for reactor core in fuel handing system of high temperature gas cooled reactor nuclear power plant

|  |
| --- |
| （征求意见稿） |
| 本稿完成日期：2025年7月 |

XXXX - XX - XX发布

XXXX - XX – XX 实施

中国核学会团体标准

T/CNS XXXX—XXXX

|  |
| --- |
|  |

XXXX - XX - XX发布

XXXX - XX – XX 实施

中国核学会   发布

目  次

[目次 I](#_Toc204000545)

[前言 III](#_Toc204000546)

[1 范围 1](#_Toc204000547)

[2 规范性引用文件 1](#_Toc204000548)

[3术语和定义 1](#_Toc204000549)

[4 设备主要功能、参数和设备组成 1](#_Toc204000550)

[4.1 主要功能 1](#_Toc204000551)

[4.2 物项分级 2](#_Toc204000552)

[4.2.1 部件分级 2](#_Toc204000553)

[4.2.2 等级划分 2](#_Toc204000554)

[4.3 主要技术参数 3](#_Toc204000555)

[4.3.1 总体参数 3](#_Toc204000556)

[4.3.2 环境条件 3](#_Toc204000557)

[4.4 设备组成 4](#_Toc204000558)

[5材料要求 4](#_Toc204000559)

[5.1 主体材料要求 4](#_Toc204000560)

[5.1.1 承压材料 4](#_Toc204000561)

[5.1.2 非承压材料 4](#_Toc204000562)

[5.2 焊接材料 4](#_Toc204000563)

[5.3 紧固与密封材料 4](#_Toc204000564)

[5.4 不允许的材料 5](#_Toc204000565)

[6制造、检验和试验要求 5](#_Toc204000566)

[6.1 制造要求 5](#_Toc204000567)

[6.1.1 总则 5](#_Toc204000568)

[6.1.2 焊接 5](#_Toc204000569)

[6.1.3 热处理 5](#_Toc204000570)

[6.1.4 机加工 5](#_Toc204000571)

[6.2 检验要求 5](#_Toc204000572)

[6.3 试验要求 6](#_Toc204000573)

[6.3.1 耐压及气密性试验 6](#_Toc204000574)

[6.3.2关键尺寸复检 6](#_Toc204000575)

[6.3.3 执行部件及总装试验 6](#_Toc204000576)

[6.3.4带球功能试验 6](#_Toc204000577)

[6.3.5连续运行试验 7](#_Toc204000578)

[7 涂漆、包装和贮运要求 7](#_Toc204000579)

[7.1 涂覆要求 7](#_Toc204000580)

[7.2 包装和贮运要求 7](#_Toc204000581)

[8 安装和运维要求 8](#_Toc204000582)

[8.1 安装要求 8](#_Toc204000583)

[8.2 运维要求 8](#_Toc204000584)

[9 质量保证和质量控制要求 8](#_Toc204000585)

[9.1 质量保证 8](#_Toc204000586)

[9.2 质量控制 8](#_Toc204000587)

[10文件要求 8](#_Toc204000588)

[10.1 设备投产前应提交的文件 8](#_Toc204000589)

[10.2 出厂技术文件 9](#_Toc204000590)

[10.3 质保文件 9](#_Toc204000591)

[10.4 工艺性文件 9](#_Toc204000592)

[10.5 计算文件 10](#_Toc204000593)

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。

本文件由中国核学会提出。

本文件由核工业标准化研究所归口。

本文件起草单位：清华大学核能与新能源技术研究院

本文件主要起草人：张海泉、聂君锋、王鑫、李晓刚、刘阳。

高温气冷堆核动力厂燃料装卸系统堆芯卸料装置技术要求

# 1 范围

本文件规定了球床式高温气冷堆（以下简称：高温气冷堆）核动力厂燃料装卸系统堆芯卸料装置的技术要求，包括装置的功能参数，材料、制造、检验和试验等技术要求，以及相应的质量保证与质量控制要求。

本文件适用于高温气冷堆核动力厂燃料装卸系统所用的堆芯卸料装置。

# 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。

HAF003-1991 核电厂质量保证安全规定

GB/T 1801-1999 公差带和配合的选择

GB/T 1184-1996

NB/T 20001-2013 压水堆核电厂核岛机械设备制造规范

NB/T 20002-2013 压水堆核电厂核岛机械设备焊接规范

EJ/T 564-2006 核电厂物项包装、运输、装卸、接收、贮存和维护要求

# 3术语和定义

该目录下将主要编写本文件涉及到的术语和定义。

# 4 设备主要功能、参数和设备组成

## 4.1 主要功能

高温气冷堆核动力厂燃料装卸系统中堆芯卸料装置与反应堆压力容器直接相连，属于一回路压力边界，同时承载具有高剂量γ射线的球形燃料元件，主要功能是将燃料元件从堆芯底部单一化卸出。

## 4.2 物项分级

### 4.2.1 部件分级

根据执行的安全功能，堆芯卸料装置的上述功能部件可进一步划分为安全级部件和非安全级部件两类：

——安全级部件：位于一回路压力边界内，执行一回路冷却剂包容功能，包括承压壳体和隔离套：

* + - * 承压壳体包括箱体、端法兰和轴承屏蔽座，以及与壳体焊接的出球口接管、内衬筒、测温管和轴式吊耳；
      * 隔离套是磁驱卸料机构、磁驱电动插排、磁驱维修部件和磁驱扰动机构的承压边界；
      * 配套件包括承压壳体与隔离套接口相关的紧固件与密封件，以及其他应归入安全级部件范围内的紧固件等附件。

注：部件中相关的隔离套、紧固件和密封件归入安全级部件

——非安全级部件：堆芯卸料装置中除上述安全级部件外的组成件均为非安全级部件，包括：

* + - * 磁驱卸料机构；
      * 磁驱扰动机构；
      * 磁驱维修部件；
      * 磁驱电动插排（包含内部构件）；
      * 支撑构件；
      * 驱动柜。

### 等级划分

——安全级部件，包括紧固件、密封件、配对球管法兰和阻尼管座，等级应符合以下要求：

* + - * 安全等级： 1级
      * 抗震类别： 1I
      * 质保等级： QA1

——安全级部件的配套件，包括测温管、内衬筒和轴式吊耳，等级应符合以下要求：

* + - * 安全等级： 3
      * 抗震类别： NA
      * 质保等级： QA2

——非安全级部件，等级应符合以下要求：

* + - * 安全等级： NS
      * 抗震类别： NA
      * 质保等级： QA3

## 4.3 主要技术参数

### 4.3.1 总体参数

堆芯卸料装置的技术参数如下。

（1）堆芯卸料装置总体参数

设计压力：8.1MPa（a）

工作压力：7.0MPa（a）

设计温度：250℃

工作温度：200℃

工作介质：氦气、球形燃料元件和石墨元件

外泄漏率：≤1×10-7 Pam3/s

最大排球能力（双侧）：12000/d

使用寿命：60a

检修周期：4a

（2）配对球管法兰及阻尼管座总体参数

设计压力：8.1MPa（a）

工作压力：7.0MPa（a）

设计温度：300℃

工作温度：250℃

工作介质：氦气、球形元件

法兰外泄漏率：≤1×10-7 Pam3/s

### 4.3.2 环境条件

堆芯卸料装置环境条件如下。

环境温度：16℃～40℃

环境压力：负压通风，最大外压0.13MPa

相对湿度：≤85%

辐照分区：红区

舱室辐照剂量： 5×105Gy

## 4.4 设备组成

堆芯卸料装置主要由承压壳体和磁驱部件组成。承压壳体是由端法兰、轴承屏蔽座、箱体、磁驱部件隔离套和接管等承压部件构成一个包容氦气的承压边界。磁驱部件由磁驱卸料机构、磁驱扰动构件、磁驱维修部件、磁驱电动插排、支撑构件、驱动柜组成。

# 5材料要求

## 5.1 主体材料要求

### 5.1.1 承压材料

堆芯卸料装置的承压件材料推荐为SA508-3级1类钢锻件，包括承压壳体、端法兰和轴承屏蔽座等。配对球管法兰和阻尼管座的材料推荐为SA-182 F316锻件。堆芯卸料装置承压材料以及与其焊接的材料，应符合ASME-II-A和ASME-II-D所列相应材料技术条件的要求，还应符合ASME-III-NB-2000对所采用的材料规定的要求，但NB-4435允许使用的材料和焊接材料除外。

### 5.1.2 非承压材料

堆芯卸料装置的非承压结构件，不锈钢应符合NB/T47010-2010 Ⅱ级要求，材料成份偏差满足GB/T222-2006要求。锻坯须进行超声、渗透检测，满足JB/T 4730.3.5--2005Ⅱ级要求。

## 5.2 焊接材料

焊接材料应符合ASME-Ⅱ-C的相应SFA技术要求及ASME-Ⅲ-NB-2400的要求。

## 5.3 紧固与密封材料

螺栓材料选用SA540-B24-CL3、SA453-660。密封均采用金属C型环。金属C型环的材质Inconel X-750，镀银材质，技术条件按照EJ/T 471-1999要求执行。

## 5.4 不允许的材料

所有与反应堆内主回路冷却剂接触的材料，不应用低熔点材料作为合金成份，如铅、锌、镉、锡、锑、汞、铋、硫和它们的化合物。

# 6制造、检验和试验要求

## 6.1 制造要求

### 6.1.1 总则

堆芯卸料装置安全级部件的制造应按ASME BPVC III NB-4200的要求进行。应按照NB/T 20001-2013要求进行制造，并按照NB/T 20002-2013要求进行焊接。

### 6.1.2 焊接

堆芯卸料装置制造中所使用的焊接工艺规程应符合焊接工艺评定的要求，ASME规范第Ⅸ卷及第Ⅲ卷NB-4300的规定。焊工和焊接操作者应具有ASME规范第Ⅸ卷及第Ⅲ卷NB-4300评定合格的操作技能。对于承压焊缝的焊接质量，应通过代表产品承压焊缝的焊接见证试板的破坏性试验来检验。

### 6.1.3 热处理

承压壳体的热处理应按ASME BPVC III NB-4600要求进行。对SA508-3-CL1锻件的焊接，建议焊接预热最低温度应高于100℃，并且保证在距焊缝50mm的区域内都应达到预热最低温度。对不锈钢层材料，层间温度建议宜低于180℃；对于其他材料，宜低于350℃。焊缝焊后热处理的保温温度范围宜为595 ℃～625 ℃。在炉温温度300 ℃以上时，升温和降温速率不大于每小时55 ℃。

### 6.1.4 机加工

机加工零部件应符合GB/T 1801-2009、GB/T 1184-1996的规定。

## 6.2 检验要求

针对不同安全级别的设备部件，担任RT、UT、MT和PT项目检测的无损检验的人员应持有有关部门颁发的相应方法无损检验人员资格证书。对于安全级部件及其材料的无损检测人员应依据HAF要求持证。

## 6.3 试验要求

### 6.3.1 耐压及气密性试验

承压壳体、隔离套、配对球管法兰、阻尼管座应依据ASME III-NB-6000进行水压耐压试验，其中箱体和承压壳体组件水压试验压力为10.8MPa（a），隔离套的水压试验压力为15MPa（a），配对球管法兰和阻尼管座的水压试验压力为11.7MPa（a），要求各部件在水压试验压力下至少保持15分钟，在设计压力下的密封检漏试验至少保压15分钟。水压试验后，应对堆芯卸料装置承压壳体的箱体与接管的焊缝进行无损检验。

除承压壳体的耐压试验外，对承压壳体和低压隔离器还应进行气密性试验，并采用正压氦质谱检漏试验方法进行试验。对承压壳体组件和球管配对法兰用吸枪法进行正压氦检漏检验，氦检压力为设计压力（8.1MPa（a）），充压气体采用氦气和氮气混合气体，其中氦气体积比不小于15%。具体氦检规程按照ASME BPVC 第V卷或GB/T 15823-2009氦泄漏检验标准执行。每个泄漏点的最大外泄漏率不应超过1×10-7Pa·m3/s。对磁驱维修部件进行正压氦检漏检验的氦检压力0.6MPa（a），内泄漏率不应超过1×10-5Pa·m3/s。

### 6.3.2关键尺寸复检

应对磁驱维修部件、磁驱电动插排和磁驱扰动机构位置、行程及相关配合尺寸进行复检；应对磁驱电动插排的底护板与磁驱卸料机构的转盘的相关配合尺寸进行复检。

### 6.3.3 执行部件及总装试验

堆芯卸料装置应进行如下执行部件及总装试验。

1. 用手盘车，所有活动件应转动轻便、灵活，转动一周，手感无抗力点出现；
2. 电气调试接线；
3. 磁驱卸料机构的功能试验；
4. 磁驱扰动机构的功能试验；
5. 磁驱电动插排的功能试验；
6. 磁驱维修部件的功能试验；
7. 电机调速试验；
8. 伺服驱动系统电气试验。

### 6.3.4带球功能试验

采用1200个直径为60mm的石墨球进行过球试验，以检验堆芯卸料装置的综合性能，每个球至少正常通过三次以上。检查功能包括：

1. 磁驱扰动机构的扰动功能；
2. 磁驱电动插排的扰动及拦截功能；
3. 磁驱卸料机构的卸料功能（纯石墨球工况及含粉尘与碎屑石墨球工况）；
4. 料箱解卡功能（正反转变速解卡、扰动解卡和振动解卡）；
5. 安全（模拟）联锁延时停机功能。

### 6.3.5连续运行试验

堆芯卸料装置宜进行168小时连续运转试验。连续运行试验需要考虑含粉尘及碎屑的工况，堆芯卸料装置按照0.1~0.6rpm的速度运行。连续运行试验要求堆芯卸料装置运行顺畅，取球成功率不低于99%，解卡成功率100%。

# 7 涂漆、包装和贮运要求

## 7.1 涂覆要求

除法兰密封表面外，所有碳钢和低合金钢设备外表面应涂耐辐射漆。

## 7.2 包装和贮运要求

堆芯卸料装置及部件按以下物项分级要求，遵循EJ/T 564-2006要求进行包装、运输、装卸、接收、贮存和维护：

1. 堆芯卸料装置的物项分级为C；
2. 配套电机减速机、伺服电机及驱动器、永磁驱动部件等物项分级为B。

相关设备及部件的涂漆、包装和贮运还应参照和遵循以下要求：

1. 电气设备的贮运按GB/T 4798.1-2019和GB/T 4798.2-2021以及相关国家规范进行；
2. 包装和贮运过程中应采用与设备相适应的支撑固定，应有防止振动或碰撞造成产品或包装箱损坏的保证措施，并保证各接管管口清洁和密封；
3. 设备部件存放于通风、干燥的场所；对于永磁传动部件，长期不用时，定期（30天）将外磁转子旋转360°；对于其它动设备，长期不用时，定期（60天）通电或手动运行；
4. 不锈钢零部件不涂漆，但应消除焊接氧化色，保证表面光洁。

# 8 安装和运维要求

## 8.1 安装要求

堆芯卸料装置的安装要求，至少应包括下列几方面：

1. 安装所必须的空间要求；
2. 安装前的检查项目，安装中的注意事项、安装后的检查项目；
3. 设备所需工具、调试程序及注意事项；

## 8.2 运维要求

堆芯卸料装置的运维要求，至少应包括下列几方面：

1. 运行中的可能故障及处理方案；
2. 大修期间的检查和维修内容。

# 9 质量保证和质量控制要求

## 9.1 质量保证

制造方应遵循HAF003-1991，建立符合质量要求的质保体系，编制产品设计、制造、试验、检验的质保计划及有关的程序、文件。在设备的设计、制造和试验过程中，按计划执行，建立齐全的设计和产品质量记录。

## 9.2 质量控制

制造方应针对安全级部件制定质量计划，对质量控制点做出专门规定。

# 10文件要求

## 10.1 设备投产前应提交的文件

设备投产前，需提交的文件包括但不限于以下内容：

1. 设备制造质量计划；
2. 设备制造工艺流程；
3. 锻件采购技术条件；
4. 紧固件采购技术条件；
5. 密封件采购技术条件；
6. 尺寸/目视检查工艺；
7. 液体渗透检验工艺；
8. 射线照相检验工艺或超声波检查工艺；
9. 清洁和表面处理工艺；
10. 焊接、补焊工艺评定报告；
11. 设备包装设计、标记和运输流程。

## 10.2 出厂技术文件

包括但不限于以下内容：

1. 设备竣工图；
2. 其他随机出厂图；
3. 装箱清单和发货清单；
4. 设备组成和主要零部件清单；
5. 设备备件清单；
6. 清洗、包装和运输技术条件；
7. 安装、调试、使用和维护说明书；
8. 配套附属设备部件的使用说明书。

## 10.3 质保文件

至少包括下列内容：

1. 产品合格证；
2. 产品质量证明书；
3. 各种金属材料（含焊材）的质量合格证明书和复验报告；
4. 重要外购配套件（含密封件等）质量证明书；
5. 螺栓连接件性能参数文件（包括螺栓预紧力矩值）；
6. 所有不符合项的处理记录。

## 10.4 工艺性文件

至少包括下列内容：

1. 承压材料及其焊接材料订货技术条件；
2. 设备制造工艺流程与计划；
3. 制造尺寸公差检验报告；
4. 承压壳体焊接工艺评定说明书（WPS）；
5. 焊接工艺评定报告（PQR）；
6. 焊接工艺记录；
7. 焊缝返修报告；
8. 产品焊接见证件试验报告；
9. 锻件与焊缝的无损检测报告；
10. 热处理规程及报告；
11. 装配检查报告；
12. 外观检查报告；
13. 压力试验报告；
14. 气密性试验报告；
15. 整机装配后电气性能检验报告；
16. 整机装配后电气控制测试报告；
17. 功能试验报告；
18. 内部清洁度检验报告；
19. 不符合项报告。

## 10.5 计算文件

计算分析文件至少包含以计算报告：

1. 堆芯卸料装置重要部件应力分析报告；
2. 堆芯卸料装置抗震分析报告；
3. 堆芯卸料装置温度分析报告；
4. 堆芯卸料装置密封分析报告；
5. 堆芯卸料装置疲劳分析报告。

——————————终——————————