

# 团 体 标 准

T/CNS 34—2020

---

## 高温气冷堆核动力厂氦净化与 氦辅助系统设计准则

Design criteria for the helium purification and helium auxiliary system of  
high temperature gas cooled reactor nuclear power plant

2020-12-31 发布

2021-04-01 实施

---

中 国 核 学 会 发 布



## 目 次

前言 .....	III
1 范围 .....	1
2 规范性引用文件 .....	1
3 术语和定义 .....	1
4 系统范围、功能及分级 .....	2
4.1 系统范围 .....	2
4.2 系统功能 .....	2
4.3 系统分级 .....	3
5 系统组成及主要设备 .....	3
5.1 系统组成 .....	3
5.2 主要设备 .....	4
6 系统设计要求 .....	6
6.1 氮净化系统 .....	6
6.2 氮净化再生系统 .....	6
6.3 氮供应与贮存系统 .....	6
6.4 一回路抽真空系统 .....	7
6.5 氮辅助抽真空系统 .....	7
6.6 氧化铜床再生供氧系统 .....	7
6.7 液氮供应与贮存系统 .....	7
6.8 氮辅助排气系统 .....	7
6.9 氮辅助排水系统 .....	7
6.10 氮辅助废气系统 .....	7
7 机械设计要求 .....	8
8 电气设计要求 .....	8
9 布置要求 .....	8
10 试验和在役检查要求 .....	9



## 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、中核能源科技有限公司。

本文件主要起草人：银华强、蒲洋、何学东、常华。



# 高温气冷堆核动力厂氦净化与 氦辅助系统设计准则

## 1 范围

本文件规定了球床模块式高温气冷堆(以下简称高温气冷堆)核动力厂氦净化与氦辅助系统的设计准则,包括系统范围、系统功能、系统分级、系统组成、主要设备、系统设计要求、机械设计要求、电气设计要求、布置要求、试验和在役检查要求等内容。

本文件适用于高温气冷堆核动力厂氦净化与氦辅助系统及其部件的设计。

## 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。

GB/T 150(所有部分) 压力容器  
GB/T 6886 烧结不锈钢过滤元件  
GB/T 13550 5A 分子筛及其试验方法  
GB/T 14599 纯氧、高纯氧和超纯氧  
GB/T 18442 固定式真空绝热深冷压力容器  
GB 50267 核电厂抗震设计标准  
HG/T 21618 丝网除沫器  
JB/T 2379 金属管状电热元件  
JB/T 6905 隔膜压缩机  
NB/T 47013.1~47013.13 —2015 承压设备无损检测  
TSG R0004 固定式压力容器安全技术监察规程

## 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1

**净化常数** purification constant

净化质量流量与堆内一回路冷却剂总装质量之比。

### 3.2

**净化效率** purification efficiency

净化系统或净化设备前后冷却剂中杂质浓度之差与进入净化系统或净化设备之前冷却剂中杂质浓度之比的百分数。

## 4 系统范围、功能及分级

### 4.1 系统范围

氮净化系统包括正常列和事故除湿列。

氮辅助系统包括氮净化再生系统、氮供应与贮存系统、一回路抽真空系统、氮辅助抽真空系统、氧化铜床再生供氧系统、液氮供应与贮存系统、氮辅助排气系统、氮辅助排水系统和氮辅助废气系统。

### 4.2 系统功能

#### 4.2.1 氮净化系统

氮净化系统功能包括：

- 反应堆正常运行时，去除一回路冷却剂中的气态杂质和固体颗粒，以满足氮气的纯度设计要求，特别是去除  $H_2O$ 、 $CO$ 、 $CO_2$ 、 $N_2$ 、 $H_2$ 、 $CH_4$ 、 $O_2$ ，以及 Kr 和 Xe 等放射性杂质；
- 在反应堆启动前和在反应堆检查、检修之后对一回路冷却剂进行净化；
- 对新装入的氮气进行净化；
- 与氮供应和贮存系统联合调节一回路压力；
- 初装堆除湿和在进水事故停堆后，去除一回路系统中的水；
- 接收氮辅助排气系统的氮气，经净化后，注入一回路复用。

#### 4.2.2 氮净化再生系统

该系统用于氮净化系统中的氧化铜床、分子筛床和低温吸附器再生。

#### 4.2.3 氮供应与贮存系统

氮供应与贮存系统的功能包括：

- 为反应堆一回路贮存必要的氮气体量；
- 提供清洁氮源，用于燃料装卸系统和设备的工艺操作过程；
- 与氮净化系统联合运行，调节一回路压力；
- 接收外购氮气，以补充系统中的氮气泄漏，并能使氮气在贮存容器间转运；
- 回收反应堆一回路氮气。

#### 4.2.4 一回路抽真空系统

该系统用于在一回路系统和与之相连的氮气系统充氮气之前，进行抽真空工艺，以排净系统内部的空气和结构材料吸附的气态杂质。

#### 4.2.5 氮辅助抽真空系统

氮辅助抽真空系统功能包括：

- 在氮净化与氮辅助系统和与之相连的设备、管道充氮气之前，进行抽真空，用以排净系统内部的空气和多孔介质材料吸附的气态杂质；
- 氮净化系统的净化设备再生完成后，抽真空。

#### 4.2.6 氧化铜床再生供氧系统

该系统用于提供氮净化系统氧化铜床再生所需的高纯氧气。



#### 4.2.7 液氮供应与贮存系统

该系统用于提供氮净化系统低温吸附器工作时所需的液氮。

#### 4.2.8 氮辅助排气系统

该系统用于接收各相连系统排出的氮气,达到一定压力后,把它们送往氮净化系统。

#### 4.2.9 氮辅助排水系统

该系统用于在反应堆正常运行期间,接收和贮存氮净化系统正常列中气水分离器和氮净化再生系统中气水分离器排出的冷凝水。在初装堆除湿时以及进水事故后,接收和贮存氮净化系统事故除湿列中气水分离器排出的冷凝水。

#### 4.2.10 氮辅助废气系统

本系统用于接收氮净化再生系统再生低温吸附器后的废氮气,废氮气在本系统贮存容器中存放一定时间后,经工艺辐射监测和放射性流出物监测系统检测合格后,排至负压排风系统。

### 4.3 系统分级

#### 4.3.1 安全等级

非安全级。

#### 4.3.2 抗震类别

除氮辅助排水系统贮水容器为抗震Ⅰ类外,其他均为非核抗震类。

#### 4.3.3 质保等级

非核质保等级。

## 5 系统组成及主要设备

### 5.1 系统组成

#### 5.1.1 氮净化系统

氮净化系统由氧化铜床、分子筛床、低温吸附器、尘埃过滤器、热交换器、气水分离器、隔膜压缩机、氮气电加热器、阀门、管道管件及仪表等组成。

#### 5.1.2 氮净化再生系统

氮净化再生系统由辅助分子筛床、热交换器、气水分离器、隔膜压缩机、氮气电加热器、阀门、管道管件及仪表等组成。

#### 5.1.3 氮供应与贮存系统

氮供应与贮存系统由氮气贮存容器、隔膜压缩机、阀门、管道管件及仪表等组成。

#### 5.1.4 一回路抽真空系统

一回路抽真空系统由真空泵、阀门、管道管件及仪表等组成。

#### 5.1.5 氦辅助抽真空系统

氦辅助抽真空系统由真空泵、阀门、管道管件及仪表等组成。

#### 5.1.6 氧化铜床再生供氧系统

氧化铜床再生供氧系统由氧气贮存容器、流量控制器、阀门、管道管件及仪表等组成。

#### 5.1.7 液氮供应与贮存系统

液氮供应与贮存系统由液氮贮存容器、阀门、管道管件及仪表等组成。

#### 5.1.8 氦辅助排气系统

氦辅助排气系统由氦气贮存容器、隔膜压缩机、阀门、管道管件及仪表等组成。

#### 5.1.9 氦辅助排水系统

氦辅助排水系统由水贮存容器、管道管件及仪表等组成。

#### 5.1.10 氦辅助废气系统

氦辅助废气系统由氦气贮存容器、隔膜压缩机、管道管件及仪表等组成。

### 5.2 主要设备

#### 5.2.1 氧化铜床

氧化铜床处理  $H_2$  和  $CO$ 。高温下可将  $H_2$ 、 $CO$  在氧化铜床中转化成  $H_2O$  和  $CO_2$ 。氧化铜床可以设计为固定式吸附床结构。设备设计要求包括：

- a) 氧化铜床设计气速合适,以满足氧化铜颗粒对  $H_2$  和  $CO$  的充分反应;
- b) 氧化铜颗粒装载量按照反应堆设计寿期内不更换填料的原则设计选取;
- c) 在入口杂质浓度低于 30 ppm(体积分数,表示百万分之一)条件下,设备净化效率不低于 95% 或出口杂质浓度小于 0.1 ppm。

#### 5.2.2 分子筛床

分子筛床吸附  $H_2O$  和  $CO_2$ 。分子筛对  $H_2O$  和  $CO_2$  是物理吸附,当吸附到一定量后,可通过加热升温解吸,恢复分子筛的工作能力。分子筛床可以设计为固定式吸附床结构。设备设计要求包括：

- a) 要求分子筛床设计气速合适,以满足分子筛对  $H_2O$  和  $CO_2$  的充分吸附;
- b) 分子筛颗粒装载量按照反应堆设计寿期内不更换填料的原则设计选取;
- c) 在入口杂质浓度低于 30 ppm 条件下,设备净化效率不低于 95% 或出口杂质浓度小于 0.1 ppm;
- d) 分子筛应满足 GB/T 13550 中相关技术要求。

#### 5.2.3 低温吸附器

低温吸附器吸附放射性气体裂变产物,是一个用液氮冷却内装活性炭的吸附床,在  $-190\text{ }^\circ\text{C}$  下工

作,能有效的吸附 Ke、Xe,并能同时吸附  $N_2$ 、 $CH_4$ 、 $CO$ 、 $Ar$  等化学杂质气体。它在  $150\text{ }^\circ\text{C}$  左右即可再生解吸放出所吸附的气体,从而可多次复用。低温吸附器结构上由外部的液氮槽和内部的活性炭床两大部分组成。设备设计要求包括:

- a) 要求活性炭床设计气速合适,以保证 Ke 和 Xe 放射性物质的足够滞留时间;
- b) 活性炭装载量按照反应堆设计寿期内不更换填料的原则设计选取;
- c) 在入口杂质浓度低于  $30\text{ ppm}$  条件下,设备净化效率不低于  $95\%$  或出口杂质浓度小于  $0.1\text{ ppm}$ ;
- d) 低温吸附器净化常数不低于  $1.25\%/h$ ;
- e) 低温吸附器的设计制造应遵循 GB/T 18442 的规定。

#### 5.2.4 尘埃过滤器

尘埃过滤器为管壳式结构。过滤元件采用不锈钢粉末冶金管状过滤元件。过滤元件一端为开口,另一端为盲板。过滤元件数量选取应考虑流动阻力问题。尘埃过滤器对粒径  $0.5\text{ }\mu\text{m}$  以上固体颗粒的过滤效率高于  $95\%$ 。管状过滤元件的设计制造应遵循 GB/T 6886 的规定。

#### 5.2.5 氦气贮存容器

氦气贮存容器包括氦供应与贮存系统的氦气储罐,氦辅助排气系统氦气储罐和氦辅助废气系统氦气储罐。设备设计要求包括:

- a) 氦气贮存容器应遵循安全要求设置超压保护装置。为了减小氦气泄漏,一般采用隔离式安全阀,即在安全阀入口侧串联爆破片的一种超压泄放装置;
- b) 对于碳钢材质的氦气贮存容器要求运行温度满足设备使用温度下限要求;
- c) 设备强度计算应遵循 GB/T 150(所有部分)相关要求。

#### 5.2.6 气水分离器

气水分离器为网壳式结构,它的核心部件是丝网除沫器。气体夹带着小液滴自下而上通过气水分离器时,由于惯性作用与气水分离器的金属丝网的表面碰撞,液滴随即在细丝表面聚集而扩张。当逐渐变大的液滴因为重力超过气流速度和液滴表面张力的合力时,液滴就下落被收集到分离器贮存罐底部,达到一定液位时排出。气水分离器设计应考虑合适的操作气速,过低或过高的气速会使得分离效率降低。丝网除沫器设计制造应遵循 HG/T 21618 的规定。

#### 5.2.7 隔膜压缩机

反应堆停堆时,从堆内撤出氦气,需要隔膜压缩机将反应堆氦气加压存储在氦气贮存罐中。外购新氦气时,需要隔膜压缩机将新氦气加压贮存在氦气贮存罐中。氦净化与氦辅助系统中采用隔膜压缩机为系统循环提供驱动压头。隔膜压缩机具有非常优良的密封性能。由于一回路冷却剂氦气是一种易于泄漏的气体。采用隔膜式压缩机是一种优选的方案。隔膜压缩机按一用一备设置。隔膜压缩机设计制造应遵循 JB/T 6905 的规定。

#### 5.2.8 氦气电加热器

氦气电加热器基本结构为管状电热元件插在不锈钢圆管中,氦气流过管状电热元件和不锈钢圆管内壁间的环状流道,被通电的电热元件外表面加热升温。氦气电加热设备应设置氦气断流和超温保护功能,以免电加热元件过热而损坏。管状电热元件的设计制造应遵循 JB/T 2379 的规定。

### 5.2.9 阀门

因高温堆一回路氦气杂质含量要求控制在痕量级水平,并且氦气是一种易于泄漏的气体,一回路冷却剂具有放射性,在氦净化系统中主要采用波纹管截止阀。

### 5.2.10 管道与管件

因高温堆一回路冷却剂具有放射性,并且氦气是一种易于泄漏的气体,氦净化与氦辅助系统中管道与管件之间的连接要求尽量采用焊接结构。

## 6 系统设计要求

### 6.1 氦净化系统

氦净化系统设计要求包括:

- a) 为确保反应堆正常运行期间对反应堆一回路冷却剂的净化,高温气冷堆核电厂每两个反应堆设置两套正常列,使得当一列再生、检修、试验和故障时,另一列可以轮流为两个反应堆提供净化服务。
- b) 为保持堆内氦气的纯度,具有足够的去除持续性进入堆内的气体杂质的能力,对氦净化系统正常列净化常数、净化效率、系统再生周期等设计要求如下:
  - 系统净化常数不低于 5%/h;
  - 在入口杂质浓度低于 30 ppm 条件下,系统对 H<sub>2</sub>O、CO<sub>2</sub>、CO、H<sub>2</sub>、N<sub>2</sub>、O<sub>2</sub>、CH<sub>4</sub> 净化效率不低于 95%或出口杂质浓度不高于 0.1 ppm;
  - 系统再生周期大于 1 000 h,再生周期是指净化系统在两次再生之间的连续工作时间。
- c) 应另设置一列事故除湿列,用以去除进水事故后一回路中的水。事故除湿列主要由水氦冷却器和气水分离器等组成。为保证足够快的除水速度,事故除湿列设计参数如下。
  - 系统净化常数不低于 20%/h;
  - 系统除水效率不低于 80%。
- d) 联合氦供应与贮存系统联合调节一回路压力,应使之能安全有效地实现一回路压力调节功能,调节速率不高于:5%×一回路压力/h。
- e) 为监测氦净化系统进口氦气中的杂质情况和净化设备的净化效率,应在氦净化系统进/出口、氧化铜床出口、分子筛床出口、活性炭床出口等位置设置测量分析用的气体取样点。
- f) 氦净化系统如果采用一回路主氦风机压头驱动,氦净化系统回路阻力在额定净化流量下应设计为小于主氦风机额定工况的驱动压头。

### 6.2 氦净化再生系统

氦净化再生系统设计要求包括:

- a) 再生系统再生一个正常列的时间应少于 200 h;
- b) 再生低温吸附器的废氦气排放至氦辅助废气系统。

### 6.3 氦供应与贮存系统

氦供应与贮存系统设计要求包括:

- a) 氦气贮存量应能贮存大于单个反应堆正常运行时一回路氦气总质量的 1.6 倍;

b) 回收一回路气体至压力略大于 0.1 MPa(A),系统所需的时间应少于 50 h。

#### 6.4 一回路抽真空系统

一回路抽真空系统设计要求包括:

- a) 在规定时间内,应能使一回路系统中的气体压力从 0.1 MPa(A)降到 1 kPa(A)以下;
- b) 应设置备用真空泵。

#### 6.5 氦辅助抽真空系统

氦辅助抽真空系统设计要求包括:

- a) 在规定时间内,系统的抽真空能力应能使氦辅助系统中的气体压力从 0.1 MPa(A)降到 1 kPa(A)以下;
- b) 应设置备用真空泵。

#### 6.6 氧化铜床再生供氧系统

氧化铜床再生供氧系统设计要求包括:

- a) 系统应能准确测量和控制氧化铜床再生时的氧气流量;
- b) 氧气纯度不低于 GB/T 14599 中纯氧的技术要求,可以采用氧气瓶集装格形式提供,注入氧气流量小于 100 标准状态下 100 L 每分钟。

#### 6.7 液氮供应与贮存系统

液氮供应与贮存系统设计要求包括:

- a) 系统贮存足够氦净化系统低温吸附器工作所需的液氮,满足氦净化系统至少 30 d 的用量;
- b) 系统液氮贮存容器按一用一备设置。

#### 6.8 氦辅助排气系统

氦辅助排气系统设计要求包括:

- a) 为燃料装卸系统气氛切换操作设置的氦气贮存容器的总容积,应容纳燃料装卸系统至少 1 次气氛切换操作排出的气体;
- b) 氦辅助排气系统往氦净化系统单次排气时间应满足燃料装卸系统工艺要求。

#### 6.9 氦辅助排水系统

氦辅助排水系统设计要求包括:

- a) 冷凝水贮存容器至少应能容纳正常运行期间整个反应堆寿期内所产生的冷凝水;
- b) 冷凝水贮存容器的设计应同时考虑初装堆除湿工况与进水事故工况的排水量。

#### 6.10 氦辅助废气系统

氦辅助废气系统设计要求包括:

- a) 废气贮存容器容量至少应满足低温吸附器 1 次再生废气排放量;
- b) 废气贮存容器的辐射屏蔽设计应满足辐射分区要求。

## 7 机械设计要求

机械设计要求包括：

- a) 本系统承压设备的材料应具有足够的断裂韧性,以防止这些设备在规定的使用寿命内,在各种运行方式(包括压力试验)下发生脆性断裂;
- b) 本系统材料应与设备或管道所包容流体的化学性质具有良好的相容性;
- c) 本系统材料的选择应考虑所处外部环境的大气腐蚀;
- d) 除了为便于维修和压力试验需采用法兰连接外,为了减少一回路冷却剂氦气的泄漏,本系统所有氦气管道应尽量采用焊接连接,焊缝质量按 NB/T 47013.1~NB/T 47013.13 相关要求检验,并尽量减少焊缝数量;
- e) 设备强度计算应遵循 GB/T 150(所有部分)相关要求;
- f) 密封材料选择应考虑耐辐照的要求。

## 8 电气设计要求

电气设计要求包括：

- a) 应向必要的设备、仪器仪表、照明和通信系统提供可靠电源;
- b) 应设置必要的仪表,以检测系统的流量、压力、温度、液位等工艺参数;
- c) 仪表的量程应根据实际测量要求进行选择;
- d) 仪表的位置应易于观测,并宜尽量布置在低辐射区域;
- e) 通信系统的设计应使其能在正常工况下可靠运行。

## 9 布置要求

布置要求包括：

- a) 应满足工艺流程图的要求,满足系统功能;
- b) 布置设计应充分考虑安装、检查、操作和维修的可达性,保证设备、阀门和管道周围留有足够的空间,以保证相关检测设备和装置的进出;
- c) 应保证各种工况下,管道的布置满足应力分析和柔性要求,管道对所连接机械设备的管口的作用力和力矩满足设备允许的范围;
- d) 布置设计应考虑到所有假定内部事件对系统的影响,如发生火灾或爆炸、内部水淹、飞射物、喷射流冲击或现场其他设施中的流体释放等事件;
- e) 各子系统的设备宜集中布置,并考虑人员通道及设备的安装、检修、拆装、更换、退役等空间,并考虑在设备运输路线及房间内设置适当的吊装设施;
- f) 应协调本系统工艺房间内部的通风管道、电缆桥架与工艺管道的布置,使房间内部的总体布置经济合理、整齐美观;
- g) 氧化铜床再生供氧系统的氧气贮存罐应安放在通风良好和防火的场所;
- h) 液氮供应与贮存系统设备及管道的布置,应考虑引起的液氮消耗尽可能少;
- i) 液氮供应与贮存系统液氮贮存容器应布置在室外通风良好的地方;
- j) 氮辅助排水系统疏水管线及上游系统排水管线的设计应能确保冷凝水顺利排进冷凝水贮存容器;

- k) 隔膜压缩机的布置应满足吊装、检修和更换膜片的要求,进出口管道应尽量短并进行振动分析,并应采取措施使管道的固有频率避开管道的气柱固有频率及隔膜压缩机的激振频率;
- l) 应分别考虑地面疏水和工艺疏水的地漏设置;
- m) 封闭空间内应有通风换气等措施,避免有害气体积累,保护人员安全;
- n) 合理选择管道口径,将管道介质的流速设计在经济合理范围内,并注意噪声的影响;
- o) 抗震 I 类设备应满足 GB 50267 的要求。

## 10 试验和在役检查要求

试验和在役检查要求包括以下方面。

- a) 超压保护装置,如安全阀。依据 TSG R0004 条例定期进行强制性校验。
  - b) 按照运维手册定期对设备进行维修和检查。
-

中国核学会  
团体标准  
高温气冷堆核动力厂氦净化与  
氦辅助系统设计准则

T/CNS 34—2020

\*

中国标准出版社出版发行  
北京市朝阳区和平里西街甲2号(100029)  
北京市西城区三里河北街16号(100045)

网址 [www.spc.net.cn](http://www.spc.net.cn)

总编室:(010)68533533 发行中心:(010)51780238

读者服务部:(010)68523946

中国标准出版社秦皇岛印刷厂印刷  
各地新华书店经销

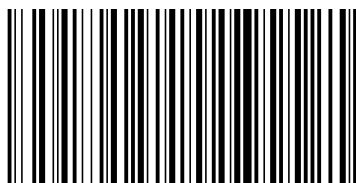
\*

开本 880×1230 1/16 印张 1 字数 25 千字  
2021年8月第一版 2021年8月第一次印刷

\*

书号: 155066·5-3472 定价 18.00 元

如有印装差错 由本社发行中心调换  
版权专有 侵权必究  
举报电话:(010)68510107



T/CNS 34-2020



码上扫一扫 正版服务到