ICS 77.040.01

CCS H 20

|  |
| --- |
|  |

T/CNS

中国核学会团体标准

T/CNS XXXXX—XXXX

|  |
| --- |
|  |

高温气冷堆核动力厂

屏蔽冷却水系统设计准则

Design criteria for the shield cooling water system of high-temperature gas-cooled reactor nuclear power plants

点击此处添加与国际标准一致性程度的标识

|  |
| --- |
|  |
| （本稿完成日期：2025年 月） |

XXXX - XX - XX发布

XXXX - XX - XX实施

中国核学会   发布

目  次

[前  言 III](#_Toc12581)

[1 范围 1](#_Toc8454)

[2 规范性引用文件 1](#_Toc15865)

[3 术语和定义 1](#_Toc32732)

[4 系统构成 2](#_Toc5593)

[4.1 系统功能 2](#_Toc32350)

[4.2 系统构成 2](#_Toc25732)

[5 总体原则 2](#_Toc31713)

[5.1 屏蔽冷却水的设计原则 2](#_Toc7564)

[5.2 系统布置要求 2](#_Toc29112)

[6 核心技术要素 3](#_Toc14432)

[6.1 独立性准则 3](#_Toc3795)

[6.2 屏蔽冷却设备设置 3](#_Toc28776)

[6.3 灾害防护 3](#_Toc12365)

[6.4 物项分级 3](#_Toc18526)

[6.5 系统设计 3](#_Toc10205)

[6.6 设备设计 3](#_Toc17783)

[6.7 供电要求 4](#_Toc24277)

[6.8 仪控要求 4](#_Toc2281)

[6.9 防腐蚀 4](#_Toc531)

[6.10 放射性检测和系统监视 4](#_Toc25232)

[6.11 接口 4](#_Toc1687)

[6.12 试验和维修要求 5](#_Toc3517)

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：中核能源科技有限公司、清华大学核能与新能源技术研究院。

本文件主要起草人：××、××、××。

本文件为首次发布。

高温气冷堆核动力厂屏蔽冷却水系统设计准则

1. 范围

本文件规定了球床式高温气冷堆（下文简称“高温气冷堆”）核动力厂屏蔽冷却水系统的设计技术规程。

本文件适用于在建及后续新建高温气冷堆核电厂屏蔽冷却水系统设计。

1. 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。

HAF 102 核电厂设计安全规定

HAD 102/01 核电厂设计总的安全原则

NB/T 20012-2019 压水堆核电厂核安全相关混凝土结构设计规范

1. 术语和定义

HAF 102界定的术语和定义，以及下列术语和定义适用于本文件。



厂用水系统 service water system （KAB）

厂用水系统是提供如下功能的系统：向设备冷却水系统、屏蔽冷却水系统提供冷却水，并将热量传输到最终热阱。

注：厂用水系统属于非安全相关系统。



屏蔽冷却水系统 shield cooling system（JNB）

屏蔽冷却水系统是提供如下功能的系统：在正常运行期间保证反应堆舱室、蒸发器舱室，舱室混凝土上贯穿件、孔洞、预埋件等局部区域的混凝土温度不超过设定值；保证反应堆舱室上部的气氛温度不超过设定值。



反应堆舱室冷却系统 reactor compartment cooling system（JNA）

反应堆舱室冷却系统是提供如下功能的系统：通过水冷壁吸收反应堆压力容器辐射的热量，通过自然循环将热量散至最终热阱——大气，保证在正常及事故工况下反应堆压力容器及混凝土结构温度不超过ASME规范的限值。反应堆舱室冷却系统属于安全3级系统。



一回路舱室 Primary Circuit Containment

每个核蒸汽供应模块的反应堆压力容器舱室和蒸汽发生器舱室合称为一回路舱室。

注1：反应堆压力容器舱室为剖面形状为圆形竖井式钢筋（或钢板）混凝土结构，主要用于安装反应堆本体以及相关工艺系统。

注2：蒸汽发生器舱室为剖面形状为矩形竖井式钢筋混凝土结构，主要用于安装蒸汽发生器本体和相关工艺系统。



核岛液体放射性废物收集和贮存系统 Nuclear Island Liquid radioactive waster collection and storage system (KPK)

核岛液体废物收集和贮存系统是提供如下功能的系统：负责核岛厂房控制区内产生的放射性废液分类收集和暂时贮存，放射性废液收集后通过管道输送到液体放射性废物处理系统进行处理或者监测排放。

1. 系统构成
   1. 系统功能

屏蔽冷却水系统是高温气冷堆一回路舱室混凝土的冷阱，用于保护压力容器舱室、蒸发器舱室混凝土温度不超过设定温度，并为压力容器上舱室顶部电缆提供合适的温度环境。屏蔽冷却水系统的热量由厂用水系统带走。屏蔽冷却水属于非安全级系统，但如果系统长时间停运，将会导致舱室混凝土温度超出正常限值，最严重情况下，甚至会引发停堆。

* 1. 系统构成

屏蔽冷却水系统由把核岛压力容器舱室和蒸发器舱室中，热辐射、热对流和热传导到混凝土墙上的热负荷，以及压力容器舱室上部超过工艺温度要求的热负荷，输送到厂用水系统所必需的泵、阀门、板式换热器、冷却器和管道等组成。

1. 总体原则
   1. 屏蔽冷却水的设计原则

（1）在反应堆正常运行期间，保证舱室混凝土的温度（除第（2）条所述局部区域外）不超过65℃（NB/T 20012-2019《压水堆核电厂核安全相关混凝土结构设计规范》）；

（2）在反应堆正常运行期间，保证舱室混凝土的贯穿件、孔洞、预埋件等局部区域的温度不超过95℃（NB/T 20012-2019《压水堆核电厂核安全相关混凝土结构设计规范》）；

（3）在反应堆正常运行期间，保证反应堆压力容器舱室上部（顶绝热层以上部分），其气氛温度低于90℃（上舱室内部分电缆许用温度）。

* 1. 系统布置要求

布置

5.2.1.1 屏蔽冷却水系统的设计布置应考虑：

* 管道破损后果的防护；
* 便于试验和检查的措施。
* 合理布置冷却器，最大程度发挥空冷器的冷却能力；
* 在局部无法采用空气冷却的区域预埋冷却管，保证混凝土局部温度不超温；

5.2.1.2 应考虑房间、地板排水需求，并应考虑工质水放射性活度超过370Bq/L时的换水需求。屏蔽冷却水系统房间布置在控制区，排水由核岛液体放射性废物收集和贮存系统负责。

对管道破损后果的防护

为了使构筑物、系统和部件不受管道破损后果的影响，在设计时应考虑管道系统的布置和管道支承件的设计。管道应避免穿过白区，如不得不穿过时，应避免设置焊缝。布置于安全级管道、设备正上方时，应进行抗震设计。

1. 核心技术要素
   1. 独立性准则

屏蔽冷却水系统为每个机组专用，每个模组或每个堆的管道相对独立，设备可以合并设置。

* 1. 屏蔽冷却设备设置

冗余设置准则即每台机组屏蔽冷却水系统应由两个100%容量的系列组成。若一个系列失效，系统应能够支持电站正常功率运行、反应堆停堆和整堆换料时的热量导出。

由于屏蔽冷却水系统是长期使用的，系统所有的泵、换热器应保持长期使用（泵的维修不应影响电厂的运行），每台机组设置两个系列（2×100%）。

* 1. 灾害防护

屏蔽冷却水系统应采取措施防止内部水淹、管道破裂等内部灾害及其造成的影响。

* 1. 物项分级

安全分级

屏蔽冷却水系统不执行安全功能，屏蔽冷却水系统的机械部件、电气部件均属于非安全级。

抗震分类

屏蔽冷却水系统部件按照常规抗震进行设计，但在舱室内的设备和管道为保证不影响安全级系统运行，应按照抗震II类设计。

* 1. 系统设计

屏蔽冷却水系统应在核电厂正常运行模式下运行，以带走一回路舱室内辐射、对流和热传导到混凝土墙上的热负荷，以及压力容器舱室上部超过工艺温度要求的热负荷。正常运行模式包括启动、满功率和非满功率正常运行、停堆工况。

每台机组的屏蔽冷却水系统应配置两个相同的系列，每个系列可满足电站正常功率运行工况下100%容量要求。在反应堆正常运行工况时，允许同时运行两个系列。若一个系列失效，关闭该列，另一列运行，同时应监视舱室内各温度变化情况，根据实际温度情况决定是否停堆。

屏蔽冷却水系统应在厂用水设计温度下，能够保证一回路舱室正常冷却。

屏蔽冷却水系统的设计容量应满足在任何正常运行模式运行时的热负荷要求，并与舱室冷却系统配合完成排出堆芯衰变热（来自放射性衰变和停堆后裂变）的能力，并保证混凝土温度和压力容器舱室上部不超过温度限值。

* 1. 设备设计

泵

泵应有足够的容量和压头，以满足屏蔽冷却水系统运行的要求。

在整个运行范围内，对功率和转矩的要求不应超过泵驱动装置的能力。

为了防止泵的机械损坏，应提供控制装置或其他适当手段，以避免泵在低流量工况下运行。

设计应为屏蔽冷却水系统泵在电厂所有设计工况下提供足够的净正吸入压头。

板式换热器

板式换热器在它们的整个寿期内，由于结垢或堵管造成性能降低的情况下，仍应具有满足6.5规定的热负荷要求的传热性能。

为便于泄漏检测和维修，板式换热器的布置和安装应保证能在热源和热阱两侧采取隔离措施。

屏蔽冷却水系统板式换热器的设计应考虑运行过程中产生的污垢沉积和腐蚀，使其便于清洗和泄漏检测。设备材料应与冷却水的化学特性兼容。

冷却器

冷却器在它们的整个寿期内，由于结垢或堵管造成性能降低的情况下，仍应具有满足6.5规定的所有热负荷要求的传热性能。

冷却器设计应满足厂用水设计温度时，带走舱室内热量，使舱室壁面温度或气氛温度满足系统设计要求。

冷却器布置在舱室内，设备设计时需确保设备内无气体累积。

屏蔽冷却水系统冷却器的设计应考虑运行过程中产生的污垢沉积和腐蚀。设备材料应与冷却水的化学特性兼容。

冷却器应采用抗震II类设计，需进行抗震力学分析。

阀门

阀门应设计成能承受系统的最高压力。

动力操作阀应设计成能承受阀门传动装置可能施加的最大载荷。对于电动阀，应确保执行机构的扭矩和限位开关运行正常。

为了保证系统就地手动阀和远程手动操纵阀保持在系统运行的适当位置上，应采用行政管理措施或设置闭锁装置。

容积补偿器

容积补偿器应设计成具备充水功能、补水能力。

屏蔽冷却水系统应当配置足够容积的容积补偿器，容积补偿器内压力应保证系统在任何工况下保持管路充满水且能为泵提供足够的净正吸入压头。

容积补偿器的尺寸应满足系统容量的变化，应确保在发生泄漏时操作员有足够的时间采取措施应对。容积补偿器尺寸还应考虑温度变化引起的系统容量的波动而不要求额外补水。

容积补偿器应配备监测液位、压力的仪表，而且能在主控室显示和报警。

* 1. 供电要求

屏蔽冷却水系统应采用厂用电供电。

厂家供应的电缆应采用低烟无卤阻燃型铜芯电缆，还需满足耐辐照要求。

* 1. 仪控要求

控制室应有泵和电动阀门状态显示，以及为在控制室内使屏蔽冷却水系统投入运行所需要的手动操作手段。

板式换热器前后应设有测量厂用水侧压差的仪表，以及必要的报警信号，以检测板式换热器的运行状态。

屏蔽冷却水系统在一回路舱室内设置混凝土壁面温度、舱室气氛温度、蒸汽发生器支承座温度测点，并能在主控制室监视和报警，以检测系统运行状态。

* 1. 防腐蚀

屏蔽冷却水系统设备、阀门、管道选用材质应与所输送介质的特性相适应。与腐蚀性介质接触的部分应使用耐腐蚀材料建造，或者采用阴极保护等保护方法，或者材料厚度有足够的腐蚀裕量，以在电厂整个寿期内保证系统的完整性，设计中应考虑系统中不同金属接触造成腐蚀的影响。

* 1. 放射性检测和系统监视

屏蔽冷却水系统应设置取样口，定期检测屏蔽冷却水系统水的放射性活度的手段。

* 1. 接口

屏蔽冷却水系统的供电系统应满足6.7节要求。

仪控系统应满足6.8节要求。如果分析后表明有足够的时间使操作人员能够采取动作，屏蔽冷却水系统可以采用手动切换方式。

为屏蔽冷却水系统设备服务的通风系统设计应满足相关法规、规范和技术规格书的要求。

为维持系统所需的水装量，应在需要的时间和场所提供向屏蔽冷却水系统补水的手段。如果系统设计需要，还应提供向屏蔽冷却水系统添加缓蚀剂的必要手段，以便保证系统水中的缓蚀剂在所需要的浓度范围内。

为监测冷却水水质，应设置取样接管。

与核岛液体放射性废物收集和贮存系统接口，应考虑屏蔽冷却水放射性活度超过370Bq/L时的换水需求。

* 1. 试验和维修要求

泵的性能试验措施应满足相关法规、规范和技术规格书的要求。

阀门试验措施应满足相关法规、规范和技术规格书的要求。

系统应设置流量、压力测量措施。

设备和系统运行前的水压试验应满足相关法规、规范和技术规格书的要求，设计应考虑能按有关规定定期进行在役水压试验。

应提供适当的排气、疏水措施，以便允许维修所有设备。

应按照进行预防性维修的要求，提供到达预防性维修设备（如泵转子、板换）的通路和拆装空间。

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_