ICS 27.120.20

CCS P59

**T/CNS**

中国核学会团体标准

T/CNS XXXX—XXXX

|  |
| --- |
|  |

高温气冷堆核动力厂内部水淹

防护设计准则

The design guidelines for internal water flooding protection

in HTGR nuclear power plants

|  |
| --- |
| （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   发布

目  次

[目  次 I](#_Toc1782)

[前  言 II](#_Toc30802)

[1 范围 1](#_Toc32)

[2 规范性引用文件 1](#_Toc14464)

[3 术语和定义 1](#_Toc13749)

[4 内部水淹总体防护原则 2](#_Toc5038)

[4.1 防护目标 2](#_Toc2165)

[4.2 防护设计要求 2](#_Toc7660)

[5 内部水淹危害性分析方法 4](#_Toc24909)

[5.1 通用假设 4](#_Toc11850)

[5.2 分析原则 4](#_Toc23208)

[5.3 分析内容 4](#_Toc20864)

[5.4 识别禁淹设备 6](#_Toc5970)

[5.5 划分水淹分区 6](#_Toc11324)

[5.6 识别潜在水淹源 6](#_Toc18956)

[5.7 分析漫延路径 8](#_Toc27614)

[5.8 计算水淹高度 8](#_Toc8660)

[5.9 分析水淹影响 8](#_Toc17952)

[5.10 防护措施 8](#_Toc32098)

[参考文献 10](#_Toc18201)

图1 内部水淹危害性分析逻辑图 5

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：谭方泉，李静玉，卢放，孙凤，杜志豪，田秀峰。

高温气冷堆核动力厂内部水淹

防护设计准则

1. 范围

本文件规定了高温气冷堆内部水淹防护设计的原则和要求，并确定了内部水淹危害性分析的分析方法、范围、关键内容。

本文件适用于高温气冷堆核动力厂的内部水淹防护设计，其他核动力厂可参考使用。

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。

NB/T 20591-2021 轻水堆隔间淹没效应防护准则

NB/T 20403-2017RK 压水堆核电厂隔间压力与温度瞬态分析

T-CNS 24--2020 高温气冷堆核动力厂房假想管道破损事故防护设计准则

1. 术语和定义

下列术语和定义适用于本标准。



基本安全功能 **fundamental safety function**

1. 控制反应性；
2. 排出堆芯余热，导出乏燃料贮存设施所贮存燃料的热量；
3. 包容放射性物质、屏蔽辐射、控制放射性的计划排放，以及限制事故的放射性释放。

风险指引 **risk-informed**

涵盖了风险信息的分析、决策和管理的方法。该方法将风险信息与传统工程分析要考虑的因素结合起来，使得营运单位和核安全监管机构对核动力厂的设计和运行的关注水平与它们对健康和安全的重视程度相一致。



安全重要物项 **item** **important to safety**

属于某一安全组合的一部分，其失效或故障可能导致对厂区人员或公众的辐射照射的物项。



防护（缓解）设施 **protective(mitigating) features**

用于限制淹没影响以保证维持所需功能的非能动或能动设施。



淹没 **flooding**

在包含安全停堆、应急堆芯冷却所必需的，或者其失效会导致公众受到的剂量当量超过国家规定限值的构筑物、系统和部件的厂房内，以蓄积、流动或者喷射等异常方式出现大量流体。



可居留性 **habitability**

用于描述某一区域是否满足可以在其中连续或暂时居留的程度。

1. 内部水淹总体防护原则
   1. 防护目标

内部水淹防护设计应保证以下功能的实现：

1. 内部水淹应能保证不会造成用于实现基本安全功能的系统、设备和构筑物的丧失；
2. 内部水淹不能影响主控制室的可居留性，且不能妨碍接近（或就地启动）实现基本安全功能所需要的设备；
3. 内部水淹不能影响来自风险指引分析结果的风险重要设备及多模块共用设备。
   1. 防护设计要求

内部水淹防护应从预防和防护两方面进行设计。内部水淹预防是采取措施预防内部水淹始发事件发生或降低其发生的可能性。内部水淹防护是通过采用泄漏探测和隔离的方式来控制和缓解内部水淹的后果。

* + 1. 内部水淹预防

1. 应提供足够的监督措施，如对可能发生破裂或泄漏的容器或管道进行定期检查，尽可能地减少管道破裂的可能性；
2. 在设计中应提供预防水箱满溢的措施（如水位传感器、自动联锁等），以避免由于水箱满溢导致的内部水淹；
3. 应合理布置以减少内部水淹源对核安全重要物项以及易受水淹影响设备的影响，主要要求包括：
4. 除运行所需设备外，房间内应尽量避免安装其它液体管道；
5. 主控室内应避免布置液体管道；
6. 电气、仪控机柜间内应尽量避免布置液体管道；
7. 反应堆核燃料干贮存区应避免布置液体管道；
8. 应尽量在核安全相关物项所在房间设置干式消防系统；
9. 管道布置应尽量避免在任一隔间内发生内部水淹导致隔间之间发生的虹吸现象。如果不能避免，应提供防虹吸装置；
10. 电缆桥架的布置应避免内部水淹从电缆托盘的位置漫延到核安全重要物项所在房间。
    * 1. 内部水淹防护
11. 应设置排水设施，如地漏、排水沟、排水泵、排水管线等排水设施将水输送到最终汇集点；
12. 应采取措施限制由于内部水淹的水淹源所引起的水淹漫延：
13. 通过设置门槛、挡水堰等方式限制内部水淹的漫延，以尽可能减少安全重要物项所在区域受到内部水淹的影响，并避免单模块的内部水淹漫延造成多模块的水淹风险；
14. 应尽可能将内部水淹的影响范围限定于安全系统的一个系列；如无法满足该要求，则应采取其它措施，避免由于内部水淹对安全系统的多个系列造成影响；
15. 多个反应堆模块执行相同功能的系统或设备布置在一起时，应采取相应措施，避免由于内部水淹及其漫延造成多模块设备的水淹风险；
16. 需防护的设备安装高度应高于最大内部水淹水位，如设计上无法满足，则应证明其能在水淹情况下运行。
17. 应设置泄漏的监测和隔离措施，包括：
18. 应设置地坑液位探测器，并在主控室中设置相应的报警信号；
19. 液体系统应设置可靠的泄漏探测措施（如传感器）和隔离阀门。例如，通过管道流量和压力变化、水位指示等探测到某些位置发生水淹，可以自动控制阀门；
20. 每个区域的地漏应设计有足够的水淹排泄容量，并提供措施（例如地漏逆止阀）以防止水的回流。应对地漏定期检查和维修，并采取管理手段确保临时设备不会遮挡地漏；
21. 对于水淹源流量很大且布置有安全重要物项（禁淹设备）的房间，应提供足够的泄流措施（如足够的地漏、未封堵孔洞、地面的格栅、门洞、地面开口等）。应对这些措施进行定期检查和维修，并采取管理手段确保临时设备不会影响这些措施。
22. 应尽可能地采用与所在区域水淹情况相适应的防水等级设备。防水淹设备应在淹没环境中做合格鉴定，证明其在喷溅甚至淹没中可以执行其安全功能。如果设备没有在这种环境下做合格鉴定，则应通过密封、屏蔽等方式加以保护，且密封性也应在相应的环境条件中做合格鉴定；
23. 应尽量避免不同反应堆模块间的水淹漫延影响。
24. 内部水淹危害性分析方法
    1. 通用假设

内部水淹危害性分析应该建立在以下假设的基础上：

1. 考虑内部水淹发生在正常运行工况；
2. 不考虑同一厂址内同时发生2起及以上独立的内部水淹；
3. 不考虑内部水淹与其它独立假设始发事件同时发生，但应考虑内部或外部灾害引发的内部水淹。
   1. 分析原则

内部水淹危害性分析应该满足以下分析原则：

1. 应考虑水淹所造成的淹没效应和浸润效应，也应考虑水的喷淋和蒸汽凝结在高处可能形成的水淹情况；
2. 应考虑厂房内所有可漫延的水淹源项，同时也考虑持续的补水系统或补水措施；
3. 应保守考虑水淹缓解措施，例如考虑地漏对水淹的缓解作用时应假设可能发生堵塞；
4. 发生内部水淹的区域内，在水淹水位以下的易受水淹影响的设备（电动阀、电气柜、仪控柜等）均应视为丧失功能。机械设备（如机械管道、箱体）、电缆（除电缆接口位置）认为不会受到水淹影响。除非构筑物设计中考虑了最大水淹水位的荷载，否则应考虑构筑物可能由于水淹的蓄积而失效。
   1. 分析内容

核动力厂设计应能防护管道破损、水箱满溢或泄漏、消防喷淋动作等假想水淹源导致的内部水淹。在引用本章内容时，还可以参考NB/T 20591-2021。

内部水淹危害性分析逻辑图见下图1：



图1 内部水淹危害性分析逻辑图

内部水淹危害性分析从确定禁淹设备开始，确定任何假想水淹源引起的可能后果。内部水淹防护分析应包含以下主要方面：

1. 识别禁淹设备；
2. 划分水淹分区；
3. 识别潜在水淹源；
4. 分析漫延路径；
5. 计算水淹高度；
6. 分析水淹影响；
7. 防护措施。
   1. 识别禁淹设备

应识别内实现安全功能所必须的工艺、电气、仪表、控制、通风等系统包含的设备及其所需的支持系统包含的设备。应识别上述设备中易受水淹影响而失效的、且失效后影响系统功能的设备。

识别的禁淹设备应能保证第4.1节中功能的实现。禁淹设备识别应包括以下方面：

1. 禁淹设备应为执行安全功能的系统；
2. 禁淹设备应为失效会导致a）中系统主要功能降级或丧失的设备；
3. 禁淹设备应为电动设备、仪控柜、电气柜等能动设备。

禁淹设备的识别应结合风险指引的分析方法及多模块设计特征。禁淹设备识别还应包括以下设备：

1. 应识别概率安全分析结果中风险贡献较高或重要度高的设备；
2. 应识别多模块共用系统或多个模块执行相同功能的系统或设备中会受同一水淹影响而导致多模块始发事件发生的设备。
   1. 划分水淹分区

水淹分区的实体屏障应限制内部水淹从一个分区向另一分区漫延。

水淹分区的划分应包括以下内容：

1. 应将禁淹设备所在房间划分为水淹分区；
2. 应尽可能地通过实体边界屏障来划分水淹分区，所有构筑物的外墙、基础、楼板必须为水淹分区提供实体边界；
3. 水淹区域的边界屏障及其相关部件包括墙、门、楼板、嵌缝、通风管道、机械和电气贯穿件封堵等，这些部件应具备耐水性，应至少能承受该分区发生内部水淹的最大水淹水位引起的荷载。需确保水淹区域边界的完整性，避免内部水淹漫延到其他水淹分区。

如不满足上述要求，应保证不会对核动力厂三大基本安全功能造成威胁。

* 1. 识别潜在水淹源
     1. 内部水淹的水淹源

多模块高温气冷堆的水淹源应考虑核安全相关厂房内的所有液体系统及箱体发生以下情况：

1. 高能管道和中能管道的泄漏或破裂，高能管道假定发生环向破裂和纵向破裂，但二者不同时发生，故以最坏情况双端剪切断裂进行分析。中能管道破损位置只假定发生穿壁裂缝，无环向或纵向破裂的可能；
2. 非抗震I类水箱失效或满溢，对于具有冗余真空爆破装置、大气开口以及超压保护的抗震Ⅰ类水箱，或设置有水密性衬里的水箱，可不假设水箱失效；
3. 消防系统动作（包括误动作），可忽略采用闭式喷头的自动喷水灭火系统干管的误动作；
4. 设备隔离失效，即泵、阀等能动部件产生泄漏或防泄漏密封装置失效引起的水淹；
5. 来自相邻区域的水漫延导致的水淹。

除考虑上述内部水淹源外，还应包括厂房外厂区内的蓄水结构或设备破坏造成的水淹。

* + 1. 泄漏隔离时间

泄漏隔离时间由两部分组成，即发生泄漏之后的探测时间以及隔离时间。

泄漏隔离时间应考虑以下方面：

1. 确定能在主控室监测到泄漏信号，并可以在主控室手动隔离时，泄漏时间应等于主控室出现第一次报警信号时间加上人员不干预时间；
2. 确定能在主控室监测到泄漏信号，但需要就地操作进行隔离时，泄漏时间应等于主控室出现第一次报警信号时间加上安排人员执行就地动作所需时间，这种情况下，泄漏时间应根据具体情况确定；
3. 确定水淹源为闭式循环时，应考虑水全部泄漏所需要的时间。
   * 1. 泄漏水量

泄漏水量应考虑以下方面：

1. 确定中能和高能管道的泄漏水量时，管线破损的位置和形状应根据T-CNS 24-2020中的要求确定。假想高能和中能管线破损所释放的流体质量应根据NB/T 20403-2017RK中第四章的要求进行计算；
2. 确定箱体泄漏和破裂的泄漏水量时，通常应考虑箱体内的水全部排空，最大释放水量应为水箱的有效容积，还应考虑水箱的自动补水及相连的管道系统；
3. 确定消防系统正常动作的水量时，应考虑所有影响该水淹区域的的消防系统均投入运行。水淹量为水淹分区内所有消防喷淋系统的喷淋水量和消火栓的投入的水量之和；
4. 设备隔离失效的泄漏水量应与该分区内管道破损的水淹源进行比较，选取最大值；
5. 确定来自相邻区域的水漫延的水量时，应按对所分析区域最不利的假设确定水量；
6. 确定厂房外厂区内的蓄水结构或设备破坏造成的水淹水量时，应按对安全厂房最不利的假设确定水量。
   1. 分析漫延路径

确定水淹分区所有的排水措施和漫延路径。排水措施包括地漏、地坑、排水泵等，漫延路径包括门缝、门洞、楼梯井、地面开口、地面套管、孔洞等。

在确定漫延路径时，应按对所分析水淹分区最不利的假设确定保守值。

楼梯井、地面开口、地面套管、门洞等流量依据NB/T 20591-2021进行计算。

* 1. 计算水淹高度

所有水淹分区的水淹高度应通过水淹分区的分区流入量、分区流出量和分区水淹面积确定。

1. 分区流入量为水淹分区内潜在水淹源的泄漏水量，通常应为水淹分区内外包络的水淹源，水淹量的计算见第5.6节相关内容；
2. 分区流出量为分区通过排水措施和漫延路径的排水量，排水量的计算见第5.7节相关内容；
3. 分区水淹面积为水淹分区内去除掉设备所占位置之后的实际水淹面积。
   1. 分析水淹影响

水淹影响应分析淹没影响和喷淋影响。

1. 应比较设备安装高度和水淹水位高度，确定禁淹设备是否受内部水淹的淹没影响；
2. 应分析禁淹设备是否受内部水淹的喷淋影响。
   1. 防护措施

防护措施可以是一种或几种措施的组合，应满足本标准4.2节的要求。防护措施包括但不限于以下方面：

1. 可增加疏水路径，可增加地漏、地坑、排水沟、排水泵等缓解假想水淹的后果。
2. 可设置防淹屏障，可增加门槛、挡水堰、水密门等限制漫延的水淹后果，还应将贯穿部件进行防水密封。
3. 可提供泄漏和隔离装置，这些装置应能向操作人员提供“管道或设备已出现故障”的指示。应对泄漏探测和隔离装置的精度、灵敏度和合格性进行平均以保证能及时提供泄漏信号并可操作。
4. 可优化水淹源的布置，将影响禁淹设备的水淹源重新布置。
5. 可提高设备的水淹防护，如果防淹设备的位置高于最大水淹水位或经鉴定能经受最大水淹水位，则不需要附加的防护措施。否则，应增加防护措施来实现设备防护。例如，提高禁淹设备的安装高度、提高禁淹设备的防水等级等。

参考文献

1. HAF102-2016 核动力厂设计安全规定
2. HAF103-2022 核动力厂调试和运行安全规定
3. HAD102/01-1989 核电厂设计总的安全原则
4. HAD102/04-2019 核动力厂内部危险（火灾和爆炸除外）的防护规定
5. NB/T 20667-2023 压水堆核电厂内部灾害防护设计总则