

团 体 标 准

T/CNS 30—2020

高温气冷堆核动力厂反应堆 冷却剂系统设计准则

Design criteria for the reactor coolant systems 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 系统功能	2
4.1 概述	2
4.2 核安全功能	2
4.3 非核安全功能	2
5 系统范围	2
6 性能准则	3
7 抗震类别	3
8 设计准则	3
8.1 系统设计准则	3
8.2 布置准则	4
8.3 机械设计准则	4
8.4 电气设计准则	4
8.5 监测和控制装置设计准则	5
8.6 试验和检查准则	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：清华大学核能与新能源技术研究院。

本文件主要起草人：张征明、居怀明。

高温气冷堆核动力厂反应堆 冷却剂系统设计准则

1 范围

本文件规定了球床模块式高温气冷堆(简称“高温气冷堆”)核动力厂反应堆冷却剂系统的基本设计要求,包括:系统的功能、范围、性能、安全等级和抗震类别等方面的基本要求,以及具体的设计准则要求。

本文件适用于高温气冷堆核动力厂反应堆冷却剂系统的设计。

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。

T/CNS 23 高温气冷堆核动力厂工况分类

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

蒸汽发生器 steam generator

将热量从一回路系统传输到二回路系统以产生蒸汽的设备,它是一回路和二回路的分界。

3.2

再热器 re-heater

将来自汽轮机高压缸的低温蒸汽加热成高温蒸汽的设备,它是一回路和二回路的分界。

3.3

外泄漏 external leakage

因一回路压力边界中的连接法兰或阀门螺杆等密封不够严密而导致一回路冷却剂流出到外界环境中。

3.4

内泄漏 internal leakage

在一回路压力边界内部,由于一回路冷却剂高低压力差的存在以及冷却剂流道不够严密等原因,导致一回路冷却剂产生的旁路流动。

3.5

可达性 reachability

定期对设备进行检查时,人或检查设备可到达的程度和范围。

3.6

热疲劳 heat fatigue

材料工作温度发生多次反复变化引起的疲劳损伤。

3.7

应力集中 stress concentration

由于物体的形状或缺陷引起的局部应力急剧增加的现象。

3.8

残余应力 remaining stress

载荷消除后仍然残留于部件的应力。

3.9

静态载荷 dead load; static load

不随时间变化的载荷。

3.10

动态载荷 dynamic load

随时间变化的载荷。

3.11

载荷组合 combined load; load combination

不同种类载荷的迭加所形成的总载荷。

4 系统功能

4.1 概述

反应堆冷却剂系统既执行核安全功能,又执行非核安全功能。

4.2 核安全功能

反应堆冷却剂系统的核安全功能是:作为一道屏障,防止反应堆冷却剂和放射性物质不可控地释放,在任何工况下为确保堆芯冷却提供条件。

4.3 非核安全功能

反应堆冷却剂系统的非核安全功能是:在正常运行期间将热量从反应堆堆芯传输到二回路系统。

5 系统范围

反应堆冷却剂系统范围包括:

- a) 反应堆压力容器及其密封系统,包括控制棒驱动机构承压外壳;
- b) 热气导管壳体及其密封系统;
- c) 蒸汽发生器及再热器的一次侧;
- d) 主氦风机;
- e) 卸压阀及压力释放阀;
- f) 与反应堆冷却剂系统相连接并属于该系统的管道、阀门、配件,直到并包括最远的隔离装置;
- g) 为控制运行所必需的检测和控制装置中属于一回路压力边界的部件(热电偶贯穿件、引压管等)。

6 性能准则

- 6.1 反应堆冷却剂系统的设计应满足国家核安全法规关于核动力厂设计安全规定中有关要求。
- 6.2 对于 T/CNS 23—2020 规定的工况 I 和工况 II, 反应堆冷却剂系统应提供足够的堆芯冷却条件, 以确保燃料元件和反应堆冷却剂压力边界的温度不超过相应的设计限值。
- 6.3 对于 T/CNS 23—2020 规定的工况 III 和工况 IV 事故, 反应堆冷却剂系统应能为堆芯冷却提供条件, 以确保燃料元件的损伤限制在规定的范围内, 使其符合我国的厂外剂量准则或有关的规定。
- 6.4 对于 T/CNS 23—2020 规定的工况 V, 反应堆冷却剂系统应能为堆芯冷却提供条件, 以确保燃料元件的损伤限制在规定的范围内。

7 抗震类别

属于安全级反应堆冷却剂系统的设备及其支承应为抗震 I 类, 其他设备应根据其功能确定适当的抗震类别。属于抗震 I 类的设备及支承, 在极限安全地震动时, 仍要求它们执行其安全功能, 反应堆冷却剂系统及设备支承的抗震设计, 应满足相应的抗震设计准则。

8 设计准则

8.1 系统设计准则

- 8.1.1 应使由于任何反应堆冷却剂温度变化而造成的反应性变化, 处于反应性控制系统和反应堆堆芯核设计能力之内。
- 8.1.2 在正常运行和事故工况下, 能靠导热、热辐射和对流将堆芯剩余发热载出到位于反应堆舱室壁的舱室冷却器, 以防止燃料元件的温度、反应堆冷却剂系统的压力和温度超过相应的限值。应考虑冷却剂的压力和温度变化引起的堆芯支承结构和冷却剂压力边界的应力不超过规定的设计限值。
- 8.1.3 应尽量减少反应堆冷却剂压力边界范围内的部件, 诸如阀门等。应尽量减少在各种工况下发生故障的可能性及此种故障对反应堆冷却剂系统内其他安全重要物项造成的损伤, 并留有适当的裕量。
- 8.1.4 在连接反应堆冷却剂系统的管道上, 应设置两道隔离装置。
- 8.1.5 应控制反应堆冷却剂的外泄漏。反应堆冷却剂的总外泄漏量应小于限值。设计中应严格控制各个设备和系统部件的泄漏指标, 以确保总的泄漏量不超过限值。
- 8.1.6 应能迅速探测和测量来自反应堆冷却剂系统的反应堆冷却剂外泄漏, 并在切实可行的程度上确定泄漏位置。
- 8.1.7 设计中应控制反应堆冷却剂的内泄漏量, 在运行和事故条件下, 使燃料元件的最高温度不超过设计限值。
- 8.1.8 应参照有关规定配置超压保护装置。还应设置压力控制措施, 以有效降低反应堆冷却剂压力边界可能产生的超压。
- 8.1.9 应使主氦风机在产生动力失效或飞射物时也不会损坏反应堆冷却剂系统压力边界的完整性。
- 8.1.10 主氦风机应设计隔离装置, 保证在丧失热阱事故时, 压力容器温度不超过设计限值。
- 8.1.11 应设置能清除反应堆冷却剂中放射性物质(包括从燃料元件泄漏出的裂变产物)和化学杂质的净化系统。反应堆冷却剂净化系统设计的能力, 应保证在规定的燃料元件破损情况下满足反应堆冷却剂辐射剂量的限制要求, 并能使冷却剂在运行条件下与反应堆一回路系统材料化学相容。

8.2 布置准则

8.2.1 反应堆冷却剂系统的布置应尽可能紧凑,而且还要为设备的安装、维修、辐射防护留有适当的空间。

8.2.2 反应堆冷却剂系统的设计和布置应考虑在役检查的可达性。

8.2.3 反应堆压力容器应布置在分隔的舱室内。

8.2.4 蒸汽发生器的布置应考虑蒸汽发生器传热管破裂时,限制蒸汽发生器内的水进入反应堆压力容器。

8.2.5 对于由反应堆压力容器、蒸汽发生器壳体、热气导管壳体组成的一回路压力容器,在进行支承结构的布置和设计时,应充分考虑运行条件下的热膨胀及地震条件下的晃动。支承结构要能适应热膨胀所产生的位移,同时在地震条件下不会产生过大的地震载荷。

8.3 机械设计准则

8.3.1 对于任何正常运行或瞬态,应保证反应堆冷却剂系统的参数不超过设计限值。

8.3.2 对能被隔离的反应堆冷却剂系统的每个部分都应确保有超压保护,除非被隔离的部分本身不存在超压的可能性。

8.3.3 应保证在所有正常运行和事故工况下尽量减少发生故障的可能性,并设置措施以减轻故障设备、部件对其周围部件的影响,如布置上采取实体隔离,或采用具有足够强度或刚度的支撑和限制器,并应为使用中可能出现的质量下降留有必要的裕量。

8.3.4 部件在设计时,应经充分计算和分析,具有足够的强度。除考虑正常运行工况下的载荷外,还应考虑各种事故工况下的载荷,特别是由于地震等自然灾害产生的附加载荷,在这些载荷组合的作用下,部件产生的应力应限制在规范规定的限值内。应使裂纹发生可能性极小,即使产生裂纹也不至于发展成失稳断裂。

8.3.5 反应堆冷却剂压力边界部件应能够承受由于假想的反应性加入连同任何可信事件所施加在任何系统部件上的静态和动态载荷而保证压力边界的完整性。

8.3.6 部件材料应考虑辐照的影响,应能同任何正常运行或事故工况下的预计的化学特性相容。对于处于强辐射环境下的部件,应优先选择不易活化材料。对于反应堆压力容器材料及相关的制造工艺,应保证在整个寿命期内处于适当的韧性状态(包括正常运行和设计基准事故工况)。

8.3.7 反应堆冷却剂压力边界部件在设计时,应满足疲劳、蠕变等特性要求,需对部件的疲劳、蠕变进行分析,并留有足够裕量。对于处于高温运行环境下的压力边界部件,应特别注意材料的高温性能,并对高温条件部件的疲劳、蠕变等性能进行分析。

8.3.8 设备和管道的支承或限制反应堆冷却剂系统部件的结构应按反应堆冷却剂系统的最不利的载荷组合来进行设计。

8.3.9 结构设计应能够保证在制造厂和现场进行检验和试验。无法进行定期检验和试验或检验和试验受到限制的反应堆冷却剂系统的部分应尽可能少,且这些部分的缺陷不应导致不可控制的后果。

8.3.10 应规定部件的建造方法,以确保部件在规定的期间内保持高质量,能够执行规定的运行功能和安全功能。

8.4 电气设计准则

对反应堆冷却剂系统的供电,要满足核动力厂对电源系统的要求,主氦风机不要求厂内应急电源。对于为保持反应堆冷却剂系统的仪表和控制设备的功能而进行的电力操作,以及为保持冷却能力和屏

障完整性而设置的电动阀门,应配备厂内应急电源。

8.5 监测和控制装置设计准则

8.5.1 应提供监测装置,以监测系统的参数不超出正常运行范围,应有检测装置用以监测事故工况的参数变化。应提供适当的控制装置,使这些运行参数保持在规定的范围之内。

8.5.2 主控制室中应对反应堆冷却剂压力边界的下述参数给予显示或报警,或既显示又报警。

- a) 反应堆冷却剂压力边界的压力;
- b) 蒸汽发生器壳体内反应堆冷却剂的湿度,再热器传热管内反应堆冷却剂的泄漏;
- c) 系统温度;
- d) 冷却剂流量;
- e) 主氦风机的电机的主要参数;
- f) 动力操作阀门的状态指示。

8.6 试验和检查准则

8.6.1 应规定对设备或系统进行运行前试验和首次启动的要求以及必要的试验、检查、维修和记录,以确保符合与核安全有关的设计基准。

8.6.2 应能按照相关规范要求压力试验、气密性试验,并能定期开展相关试验。

8.6.3 应能在任何正常运行或事件期间得到适用于化学分析和放射性指示的有代表性的样品。

8.6.4 对反应堆压力容器应制定材料监督计划。

中国核学会
团体标准
高温气冷堆核动力厂反应堆
冷却剂系统设计准则

T/CNS 30—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

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

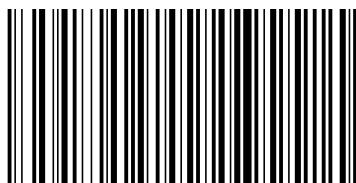
*

开本 880×1230 1/16 印张 0.75 字数 18 千字
2021年8月第一版 2021年8月第一次印刷

*

书号: 155066·5-3471 定价 16.00 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 30-2020



码上扫一扫 正版服务到