

团 体 标 准

T/CNS 22—2020

高温气冷堆核动力厂辐射防护设计准则

Radiation protection design criteria for 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

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：李红、曹建主、张立国、方晟、谢锋、李文茜。

高温气冷堆核动力厂辐射防护设计准则

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)核动力厂厂内辐射防护设计的原则与要求。

本文件适用于高温气冷堆核动力厂厂内辐射防护设计。

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 18871 电离辐射防护与辐射源安全基本标准

3 术语和定义

GB 18871 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

集体剂量 collective dose

为受某一辐射源照射的群体的成员数与他们所受的平均辐射剂量的乘积。

3.2

剂量限值 dose limit

受控实践使个人所受到的有效剂量或当量剂量不得超过的值。

3.3

剂量约束 dose constraint

对源可能造成的个人剂量预先确定的一种限制,它是源相关的,被用作对所考虑的源进行防护和安全最优化时的约束条件。

3.4

去污 decontamination

通过某种物理或化学过程去除或降低污染。

4 总则

4.1 高温气冷堆核动力厂的设计,应当使运行状态(正常运行和预计运行事件)下产生的辐射照射不超过为工作人员和公众所规定的剂量限值。在事故工况下不超过可接受限值,并可合理达到的尽量低。

4.2 剂量限值和剂量约束应符合 GB 18871 的规定。工作人员职业照射年个人有效剂量限值为 20 mSv(连续 5 年平均值,任何单一年份不应超过 50 mSv)。工作人员职业照射个人有效剂量约束值为 15 mSv/年。

4.3 依据辐射防护最优化原则,高温气冷堆核动力厂的辐射防护设计应确保厂区工作人员的个人剂量和集体剂量保持可合理达到的尽量低。集体剂量设计目标值应参考同类型核动力厂实践水平制定;当

缺少实践时,应参考行业实践制定,并保有适当的裕度。

4.4 应采用高温气冷堆核动力厂正常运行状态下含放射性物质的设备或管道设计寿期内合理保守的源项作为辐射防护设计基准。

4.5 在设计中应采取下列措施以降低工作人员受到的辐射剂量:

- a) 应从源头上减小和控制辐射源项,例如:确保燃料元件制造质量,减少自由铀含量,保证燃料颗粒的破损率满足设计指标要求(例如 2.6×10^{-4}),以限制裂变产物的释放;控制石墨基体材料、结构石墨材料、压力容器等设备材料、一回路冷却剂中的杂质含量,以限制活化产物的产生。
- b) 其他措施包括:减小一回路放射性的泄漏,考虑对放射性石墨粉尘的吹扫、过滤和收集以减少粉尘沉积,对直接和散射照射的辐射源设置适当的屏蔽,增加工作人员和辐射源之间的距离,设计适当的通风系统,采用高可靠性的设备设计,充分考虑维修的便利性,设置适当的控制区出入口,设置适当的辐射监测系统,对可能发生放射性大量沾污的区域考虑易于去污的设计等。

5 辐射分区

5.1 高温气冷堆核动力厂的工作场所分为辐射工作场所和非辐射工作场所,辐射工作场所分为控制区和监督区。

5.2 控制区为核动力厂需要或可能需要专门的辐射防护手段或安全措施的工作场所。监督区为未被定为控制区,通常不需要专门的辐射防护手段或安全措施,但需要经常进行辐射监测和评价的区域。非辐射工作场所为控制区和监督区以外一般不需要进行辐射监测的其他区域。

5.3 对于功率运行工况下高温气冷堆核动力厂控制区,依据外照射水平、工作性质、辐射源存在情况和潜在的事故风险划分为不同子区。附录 A 给出了高温气冷堆核动力厂的辐射工作场所分区示例。

5.4 在确定控制区各子区的工作时间时,应充分考虑可能的污染水平(外照射、吸入和表面污染等引起的内照射)的影响。

5.5 控制区各子区应有明显的标志区分(颜色、光等)。

5.6 在确定辐射分区时应同时综合考虑厂房布置、实体边界的划分、人流物流的走向等。

5.7 应在功率运行工况辐射分区的基础上,根据停堆工况、事故工况下可能的辐射源分布和人员进入需求进行停堆工况、事故工况的辐射分区。

6 工作场所放射性污染控制

6.1 对可能被放射性物质污染的工作场所应严格控制放射性污染的水平。高温气冷堆核动力厂辐射工作场所的表面污染控制水平见表 1。应用表 1 中的控制值时应注意:

- a) 表 1 所列数值系指表面上固定污染和松散污染的总数。
- b) 手、皮肤、内衣、工作袜污染时,应及时清洗,尽可能清洗到本底水平。其他表面污染水平超过表 1 中所列数值时,应采取去污措施。
- c) 设备、墙壁、地面经采取适当的去污措施后,仍超过表 1 中所列数值时,可视为固定性污染,经审管部门或审管部门授权的部门检查同意,可适当放宽控制水平,但不得超过表 1 所列数值的 5 倍。
- d) β 粒子最大能量小于 0.3 MeV 的 β 放射性物质的表面污染控制水平,可为表 1 所列数值的 5 倍。
- e) 氚和氟化水的表面污染控制水平,可为表 1 中所列数值的 10 倍。
- f) 表面污染水平可按一定面积上的平均值计算,皮肤和工作服取 100 cm^2 ,地板取 $1\,000 \text{ cm}^2$ 。

表 1 工作场所的放射性表面污染控制水平

表面类型		α 放射性物质/(Bq/cm ²)		β 放射性物质/(Bq/cm ²)
		极毒性	其他	
工作台 设备 墙壁 地面	控制区 ^a	4	40	40
	监督区	0.4	4	4
工作服 手套 工作鞋	控制区 监督区	0.4	0.4	4
手,皮肤,内衣,工作袜		0.04	0.04	0.4
^a 该区内的污染子区除外。 注：关于表面污染控制水平(可在核动力厂运行后加以控制),通常为:常规工作区的非固定 β 表面污染应小于 4 Bq/cm ² ;间断工作区应小于 40 Bq/cm ² ;限定工作区应小于 400 Bq/cm ² 。				

6.2 工作场所中的某些设备与用品,在特别需要的情况下,经去污使其污染水平降低到由表 1 中所列设备类的控制水平的五十分之一以下时,经审管部门或审管部门授权的部门确认同意后,可当作普通物品使用。

7 厂房布置及主要防护措施设计

7.1 在考虑高温气冷堆核动力厂的总体布局时,涉及放射性的建筑物应尽量布置在主导风向下风侧,并尽量相对集中布置。

7.2 厂房内辐射工作场所应按控制区、监督区两区原则布置,特殊条件下分区可适当增减。同一建筑物内的非辐射工作场所与辐射工作场所应采用实体边界分隔。

7.3 监督区和控制区之间应设置控制区出入口,运用行政管理程序(如进入控制区的工作许可证制度和实体屏障(包括门锁和联锁装置)限制人员和设备进出控制区。

7.4 控制区卫生出入口应至少提供下列设施:

- a) 入口:
 - 1) 醒目的辐射防护标志;
 - 2) 防护衣具;
 - 3) 个人剂量监测设备;
 - 4) 个人衣物贮存柜。
- b) 出口:
 - 1) 皮肤和工作服的污染监测仪;
 - 2) 被携出物品的污染监测设备;
 - 3) 人体表面去污设施;
 - 4) 被污染防护衣具贮存设施。

7.5 核动力厂应按需设置控制区和控制区出入口的数量,以便于控制区的有效管理。

7.6 辐射防护控制区的布置应使工作人员不必穿过较高辐射区进入较低辐射区、不必穿过较高污染区进入较低污染区。应将工作人员穿过辐射区和污染区的路线缩至最短,以减少穿越这些区域所花的时间。

7.7 根据需要在涉及放射性的厂房内设置被污染的小型设备和部件的简易检修间,其内应有简易的去

污和机修设施,来自去污设施的疏水应当排向放射性废液处理系统。

7.8 可能发生放射性大量沾污的地面、墙壁和房顶应全部用易于去污的材料装修或覆盖。

7.9 为减少燃料装卸系统、乏燃料贮存系统、一回路系统等涉及放射性系统的工作人员的照射,应考虑此类人员的特殊防护设计要求;如局部屏蔽、局部排风装置、专用长柄工具,必要时的气衣等。

7.10 在需要提供吹扫和使用气衣的区域设置压缩空气接口,以提供压缩空气气源。

7.11 厂房布置和设计应当使在辐射工作场所从事维修、检查、试验,以及退役拆除等所需的停留时间符合辐射防护最优化原则,例如采取以下措施:

- a) 设置足够宽敞的走廊使工作人员易于到达核动力厂的系统和设备,必要时走廊的大小应考虑工作人员穿戴全身防护服(包括带有便携式气源的面罩或者通过软管连接气源的面罩)。
- b) 在工作区域留有足够的空间。
- c) 在低辐射区设置“等待区域”。
- d) 可能进行频繁操作或需要维修和拆除的部件应安装在便于工作的高度上。
- e) 在预计需要对设备进行维修或拆除的区域提供梯子、通道平台、吊车轨道或吊车。
- f) 在需要进行例行维修和检查的部位,提供易于快速拆除屏蔽和保温层的设备。
- g) 提供适当的通信系统,以便于与在辐射区或污染区工作的人员进行联系。

7.12 应在设计阶段对退役给予适当的考虑,以便于退役期间避免或减少不必要的辐射照射。

8 通风系统设计

8.1 辐射工作场所应保持良好的通风,应设置专用的通风系统。

8.2 在通风系统的空气入口处应使用过滤器。

8.3 应合理组织气流,通风系统的气流方向应从气载污染水平较低的区域流向气载污染水平较高的区域,经空气净化过滤器过滤后排放到大气环境。

8.4 空气净化过滤器的位置和屏蔽应当尽可能减小污染过滤器对核动力厂工作人员的辐射照射。

8.5 辐射工作场所的通风换气次数应至少考虑工作性质、空间大小、人员停留时间、操作特点等具体情况,以保证人员安全。

8.6 放射性废气系统、氦气净化系统、燃料装卸系统等设备室等控制区应保持一定的负压。

8.7 维修期间可能发生气载污染的区域,应采用便携式通风系统(通风机、过滤器和负压工作棚),并配置相应的电源点,为通风系统的操作提供足够的空间。

8.8 对于处理事故时易于造成空气严重污染的工作场所,应设专门的事故排风设施。

9 辐照后燃料元件相关系统的辐射防护设计

9.1 燃料装卸系统的设计应采用良好的密封手段,严格控制一回路氦气和放射性的泄漏,应提供泄漏的监测手段。

9.2 燃料装卸系统、乏燃料贮存系统的设计中应考虑减少石墨粉尘在设备和管路中沉积的措施,例如对燃料元件、乏燃料元件输送管道进行吹扫、过滤和收集,减少管道中的石墨粉尘,减小管道中因沉积而导致的放射性物质积累,同时避免可能带来的卡球问题。

9.3 燃料装卸系统、乏燃料贮存系统的设施设备应选取高可靠性、低故障率的设计方案,以减小设备维修需求和工作量。

9.4 对需要维修的设施设备,应充分考虑设备维修和拆除的便捷性,并考虑维修、检查的可达性,提供良好的照明,以提高设施维修、检查的工作效率,尽量减少人员在辐射场所的停留时间。

9.5 燃料装卸系统、乏燃料贮存系统的设备和管道可能会有石墨粉尘污染,应考虑这些设备和管道在维护、维修或者更换期间的污染控制。

9.6 乏燃料的厂内贮存和厂内运输应确保满足辐射防护要求。

10 一回路(氦气回路)系统辐射防护设计

10.1 一回路(氦气回路)系统应采用良好的密封手段,严格控制一回路氦气和放射性的泄漏,应提供泄漏的监测手段。

10.2 应对一回路氦气中的石墨粉尘进行过滤和收集,以减少石墨粉尘随一回路冷却剂的迁移,减少石墨粉尘带来的放射性污染;过滤器前的管道设计应考虑能够尽量减少石墨粉尘的沉积。

10.3 应保证一回路氦气净化系统再生过程产生的含氟冷凝液在核动力厂寿期内的安全贮存,尽可能降低设备和管道泄漏的可能性,并应能够及时监测到泄漏。含氟冷凝液贮存罐所在的房间应采用钢覆面包围,包围的容积应能容纳贮存罐所装的液体量。

10.4 对于一回路氦气净化系统再生过程产生的废气,应在排放前进行衰变贮存,贮存时间应使放射性物质得到充分衰变,尽量减小放射性的排放。

10.5 一回路系统的设施设备应选取高可靠性、低故障率的设计方案,以减小设备维修需求和工作量。

10.6 对于需要维修的设施设备,应充分考虑设备维修和拆除的便捷性,并考虑维修、检查的可达性,提供良好的照明,以提高设施维修、检查的工作效率,尽量减少人员在辐射场所的停留时间。

10.7 一回路系统的设备和管道可能会有石墨粉尘污染,应考虑这些设备和管道在维护、维修或者更换期间的污染控制。

11 二回路系统辐射防护设计

应合理选择蒸汽发生器传热管材料,并在一回路氦气净化系统设计中考虑足够的对氟的去除能力,使得向二回路渗透的氟对汽轮机厂房内工作人员的照射尽可能小。

12 放射性废物管理系统辐射防护设计

12.1 放射性废物的管理和排放应遵守国家相关法律、法规的要求,在设计上力求减少废物的体积和放射性物质含量,尽量减少放射性物质向环境的排放。

12.2 应针对核动力厂厂址的环境特征及放射性废物处理工艺技术水平,遵循可合理达到的尽量低的原则,制定高温气冷堆核动力厂正常运行工况下气载流出物和液态流出物的年排放量设计目标值。

12.3 废物处理系统的设计应尽量减少蒸发浓缩物和树脂在管道、部件、容器中的结晶和沉积量。

12.4 所有具有放射性液体系统的房间都应设置放射性排水的地漏系统,这些房间的地面排水通道和坡度的设计应保证能排出设计基准泄漏量,并以可控的方式排向收集放射性液体的系统。

12.5 废物处理系统的设计应尽可能降低设备和管道泄漏的可能性,并应能够及时监测到泄漏。放射性液体容器所在的房间应采用钢覆面包围,包围的容积应能容纳该容器所装的液体量。

12.6 气载放射性流出物应通过过滤器净化后集中排放。

12.7 放射性废水应经过净化处理,处理后废水的排放应采用槽式排放。排放前应取样监测,监测合格后方可排放。

12.8 放射性固体废物暂存库的设计应考虑保守裕量,特别是维修时产生的大型废物的贮存。

13 辐射监测设计

13.1 一般要求

13.1.1 应提供监测手段,配置相应的设备,保证在核动力厂运行状态、设计基准事故以及尽实际可能

地在设计扩展工况下有适当的辐射监测措施。

13.1.2 辐射监测系统应采用集中显示、记录的方式,辐射监测仪表应具备声、光报警和仪器工作正常的自检功能。

13.2 工作场所监测

13.2.1 在人员常驻以及在正常运行或预计运行事件期间由于辐射水平的变化可能要求在一定时间内应进入的控制区工作场所,设置固定式剂量率仪表进行就地的辐射剂量率监测。

13.2.2 在适当的地点安装固定式剂量率仪表,对设计基准事故下以及尽实际可能在发生设计扩展工况情况下对辐射水平及其变化趋势进行监测,这些仪表的监测数据应传输到控制室或有关控制点。

13.2.3 在人员常驻和气载放射性物质的活度水平有时可能高至要求采取防护措施的场所,设置测量空气中放射性活度的监测系统。人员常驻的场所设置固定式连续或定期取样监测,其余场所可采用便携式或移动式设备临时取样监测。当探测到高的放射性活度浓度时,这些系统向控制室或有关控制点给出指示。

13.2.4 高辐射区域一般不设固定式仪表,而采用便携式或移动式仪表对辐射剂量、气载放射性、表面污染进行监测。

13.3 个人剂量监测

13.3.1 对进入控制区的工作人员,应提供相应的个人剂量计。内照射可能较大时,应按要求进行内照射监测。

13.3.2 工作人员离开控制区时,应进行身体表面放射性污染检查。

13.3.3 个人剂量监测结果应记录、存档。

13.4 工艺辐射监测

13.4.1 应对下列系统进行连续监测或定期取样监测:在氦气净化系统对一回路放射性活度浓度进行连续在线监测和取样监测,废气罐进行定期监测,安全级冷却系统、运行部件冷却系统进行定期取样监测,放射性废水处理系统进行取样监测,固体废物处理系统进行定期监测,二回路进行定期取样监测。

13.4.2 应设置实验室装置,及时测量运行状态和事故工况下取自流体工艺系统的气体或液体样品中的放射性活度浓度。

13.5 流出物监测

13.5.1 设置对向环境排放前或排放期间的流出物进行监测的固定式设备。

13.5.2 气载流出物集中排放口应进行连续和定期取样监测。

13.5.3 液态流出物排放槽在排放前应取样监测,排放过程中进行连续监测。

13.6 环境监测

13.6.1 为了完善流出物监测大纲,应当配备相应的环境监测设备,这种设备应能探测出辐射超过本底的显著增加。

13.6.2 环境监测应当包括外照射、气溶胶、碘浓度以及沉积放射性的测量(既可以连续测量,也可以在规定时间内间隔内用积分法测量)。

附 录 A

(资料性)

辐射工作场所分区示例

A.1 HTR-PM 依据外照射水平、工作性质、辐射源存在情况和潜在事故风险将高温气冷堆核动力厂辐射工作场所分为常规工作区、间断工作区(黄区)、限定工作区(橙区)和特许工作区(红区),分区设计特征见表 A.1。

表 A.1 HTR-PM 辐射工作场所分区设计特征

序号	名称	场剂量率 mSv/h	气载放射性 活度浓度 ^a	居留特性
0	监督区(白区)	≤0.002 5	可忽略	每周工作 40 h
I	常规工作区(绿区)	≤0.007 5	≤0.1DAC	每周工作不超过 40 h
II	间断工作区(黄区)	≤0.03	≤1DAC	通常工作时间不超过每周 10 h ^b , 并依此确定剂量率上限
III	限定工作区(橙区)	≤3	≤10DAC	工作时间由负责辐射防护的工作人员决定
IV	特许工作区(红区)	>3	—	临时特准
^a 气载放射性活度浓度,用导出空气浓度 DAC 表示。 ^b 考虑到有一些工作可能是集中的、而不是周期性的,所以间断工作区内的工作时间可按照月、季或者年统一安排。				

A.2 HTR-PM600 依据外照射水平、工作性质、辐射源存在情况和潜在事故风险将高温气冷堆核动力厂辐射工作场所分为常规工作区(绿区)、间断工作区(黄 1 区)、限定工作区(黄 2 区)、高辐射区(橙 1 区)、特高辐射区(橙 2 区)和超高辐射区(红区)。分区设计特征见表 A.2。

表 A.2 HTR-PM600 辐射工作场所分区设计特征

序号	名称	场剂量率 mSv/h	空气污染 浓度 ^a	居留特性
0	监督区(白区)	≤0.002 5	可忽略	个人每季工作时间≤500 h
I	常规工作区(绿区)	≤0.01	≤0.1DAC	个人每周工作≤40 h,年均工作量大于 10 人·h/周
II	间断工作区(黄 1 区)	≤0.1	≤1DAC	个人每周工作时间≤4 h ^b ,年均工作量小于 10 人·h/周
III	限定工作区(黄 2 区)	≤1	≤10DAC	管理进入,年均工作量小于 1 人·h/周
IV	高辐射区(橙 1 区)	≤10	—	限制进入
V	特高辐射区(橙 2 区)	≤100	—	禁止进入
VI	超高辐射区(红区)	>100	—	禁止进入
^a 对于空气污染水平,此处用导出空气浓度 DAC 量度;对于可能出现空气污染浓度的区域,可以作如下考虑: 1) 空气中可能出现明显的放射性物质污染,但属“无碘”范围,至少为间断工作区; 2) 对于空气中可能出现“碘污染”的区域,则至少为限定工作区。 ^b 考虑到有一些工作可能是集中的、而不是周期性的,所以间断工作区内的工作时间可按照月、季或者年统一安排。				

中国核学会
团体标准
高温气冷堆核动力厂辐射防护设计准则
T/CNS 22—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 20 千字
2021年8月第一版 2021年8月第一次印刷

*

书号: 155066·5-3470 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 22-2020



码上扫一扫 正版服务到