

团 体 标 准

T/CNS 32—2020

高温气冷堆核动力厂乏燃料贮存系统 设计准则

Design criteria for the spent fuel storage 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 系统要求	2
4.1 安全要求	2
4.2 功能要求	2
5 系统构成	2
5.1 一般组成	2
5.2 乏燃料输送与装料区	2
5.3 乏燃料贮罐操作区	2
5.4 乏燃料贮罐贮存区	3
5.5 乏燃料衰变热排放区	3
5.6 乏燃料贮罐转运区和货包操作区	3
5.7 乏燃料电控设备操作区	3
5.8 构筑物	3
5.9 核材料衡算系统	3
5.10 放射性废物管理系统	3
5.11 实物保护系统	3
5.12 供电、仪控和通信系统	4
5.13 暖通与空调系统	4
5.14 消防系统	4
6 运行工况	4
6.1 工况分类	4
6.2 功能要求	5
7 系统设计要求	7
7.1 乏燃料输送与装料区	7
7.2 乏燃料贮罐操作区	7
7.3 乏燃料贮罐贮存区	8
7.4 乏燃料衰变热排放区	9
7.5 乏燃料贮罐转运区	9
7.6 乏燃料运输货包操作区	10
7.7 构筑物	10
7.8 核材料衡算系统	11
7.9 放射性废物管理系统	11
7.10 实物保护系统	11

7.11	供电、仪控和通信系统	11
7.12	暖通与空调系统	11
7.13	消防系统	11
8	系统安全要求	12
8.1	临界安全	12
8.2	乏燃料衰变热排放	12
8.3	辐射防护	12
9	设备设计要求	13
9.1	乏燃料贮罐	13
9.2	贮存井设备	13
9.3	衰变热排出设施和设备	13
9.4	转运设备	14
10	质量保证	14
10.1	质保要求	14
10.2	质保范围	14
附录 A (资料性)	高温气冷堆核动力厂乏燃料贮存系统流程简图	15
参考文献	16

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：王金华、李悦、吴彬、刘继国、张巍、王翠翠。

高温气冷堆核动力厂乏燃料贮存系统设计准则

1 范围

本文件规定了球床模块式高温气冷堆核动力厂乏燃料贮存系统设备、构筑物及辅助系统的设计准则。

本文件适用于球床模块式高温气冷堆核动力厂的厂内或厂外乏燃料贮存系统的设计,其他类型核动力厂乏燃料贮存系统的设计也可参考。

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 4960.3 核科学技术术语 第3部分:核燃料与核燃料循环

GB 6249 核动力厂环境辐射防护规定

GB 15146(所有部分) 反应堆外易裂变材料的核临界安全

GB 18871 电离辐射防护与辐射源安全基本标准

GB 50016 建筑设计防火规范

GB 50140 建筑灭火器配置设计规范

NB/T 20012 压水堆核电厂核安全相关混凝土结构设计规范

T/CNS 高温气冷堆核动力厂辐射防护设计准则

HAD 501/02 核设施实物保护

3 术语和定义

GB/T 4960.3 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

乏燃料贮罐 spent fuel storage canister

用于容纳乏燃料并提供放射性物质包容边界的密封容器。

3.2

干式贮存 dry storage

将乏燃料贮存在空气或惰性气体环境中的密封贮存方式,是高温气冷堆乏燃料的典型贮存方式。

3.3

转运设备 transfer equipment

用于乏燃料贮罐的吊装和转运。

注:一般包括屏蔽运输容器、吊车、转运车、轨道车及转运用的辅助操作工机具。

3.4

贮存井 silo

能容纳乏燃料贮罐的贮存腔室,用于乏燃料贮罐的暂存和中间贮存。

3.5

贮存库 storage room

包含贮存井阵列及辅助设施的构筑物。

3.6

货包 package

用于提交运输的包装与其放射性内容物的统称。

注：本文件特指装有乏燃料贮罐的屏蔽运输容器。

4 系统要求

4.1 安全要求

高温气冷堆核动力厂乏燃料贮存系统的安全要求主要包括：

- a) 乏燃料在贮存和转运期间始终保持次临界状态；
- b) 乏燃料的衰变热在各类工况下均可以安全排出；
- c) 在贮存和转运期间可以实现乏燃料的安全包容；
- d) 在各类工况下始终满足人员和设备的辐射防护要求。

4.2 功能要求

高温气冷堆核动力厂乏燃料贮存系统的功能要求主要包括：

- a) 系统应可接收从堆芯卸出的乏燃料或堆芯填充的其他元件；
- b) 系统应可贮存至少一个堆芯的排空燃料元件；
- c) 系统设计应满足乏燃料安全贮存的要求；
- d) 系统设计应满足乏燃料贮罐装料、转移、吊装、外运等各项操作要求。

5 系统构成

5.1 一般组成

乏燃料贮存系统由乏燃料输送与装料区、乏燃料贮罐操作区、乏燃料贮罐贮存区、乏燃料衰变热排放区、乏燃料贮罐转运区和货包操作区以及乏燃料电控设备操作区等构成。相关的辅助系统主要包括：核材料衡算系统、放射性废物管理系统、实物保护系统、供电系统、仪控系统、通信系统、暖通空调系统和消防系统等。

高温气冷堆核动力厂乏燃料贮存系统典型工艺流程简图参见附录 A。

5.2 乏燃料输送与装料区

包含用于将乏燃料装入乏燃料贮罐的设备和管道，需设置元件输送管道和气体输送管道以及配套的风机和阀门等设备，元件输送管道上需设置元件计数装置和元件操作设备，实现核材料的定量统计和定向输送。

5.3 乏燃料贮罐操作区

包含乏燃料贮罐的密封设备、屏蔽设备、厂房内转运设备、将贮罐装入或移出贮存库和运输货包的吊装设备以及运输货包吊装转运设备等，乏燃料贮罐可在此区域进行贮存和转运的各类相关操作。

5.4 乏燃料贮罐贮存区

包含用于贮存乏燃料贮罐的设施和设备,典型的贮存设施为干式贮存,贮存区设有贮存井阵列,贮存井内设有贮罐吊装导向装置,并设有衰变热排放的流道构件,竖井的顶部设置井口和井盖,通过专用抓具和起升机构可以实现井盖的放置和移除,在移除井盖后可以从井口吊装乏燃料贮罐进出贮存井。贮存井在放入乏燃料贮罐后,需要对贮存井的设施和设备进行温度监测。

5.5 乏燃料衰变热排放区

安装有用于衰变热排出的设备和管道,与乏燃料贮存库有接口,包含用于排出贮存库内乏燃料贮罐余热的设施和设备,主要包括风机、风阀和风管等设备。设备或管道上应设置系统运行监控仪表。

5.6 乏燃料贮罐转运区和货包操作区

5.6.1 组成

包含用于将乏燃料贮罐在操作区、贮存区和转运区进行移动和吊装所需要的设备,这些设备可以包含用于将贮罐进行水平方向移动的设备以及垂直方向吊装的设备,并包含吊装导向的设备和支撑部件。

5.6.2 贮罐或运输货包的接收

应设置转运通道,可以从室外将乏燃料贮罐和运输货包通过运输车运入和移出操作区,设置吊装设备实现乏燃料贮罐或运输货包的吊装和移动,以及乏燃料贮罐和运输货包在车辆上的装卸操作,并进行运输附件如减震器的吊装和暂存等。

5.6.3 去污

应考虑设置去除乏燃料贮罐和货包外表面的放射性污染物所需的空间和设备。

5.7 乏燃料电控设备操作区

包含控制室和电气室,设置控制台和电控柜等设备,乏燃料电控设备操作区可以采用不需运行人员长期值守的运行方式,但需要将关键的控制和信号传至主控制室,方便运维人员及时掌握乏燃料贮存系统的运行状态,并在需要时可以及时介入。

5.8 构筑物

构筑物宜采用钢筋混凝土结构,需满足 NB/T 20012 设计规范的要求。

5.9 核材料衡算系统

包含用于记录和确定乏燃料贮存设施内的核材料的种类、数量、存放位置以及这些核材料在规定的周期内所发生的变化所需的设施和设备。

5.10 放射性废物管理系统

包含乏燃料管理系统,以及用于收集或处理乏燃料贮罐操作、转运和贮存时产生的各类放射性物质功能所需的设施和设备。

5.11 实物保护系统

包含用于为乏燃料贮存设施内外提供安保的实体屏障、出入控制、入侵检测、通信、广播、监视、安保

相关警报和照明等功能所需的各类设备。

5.12 供电、仪控和通信系统

包含用于乏燃料贮存设施的供配电、工艺系统所需的控制、仪表、通信、指示和报警以及各类工况下的辐射监测功能所需的各类设备。

5.13 暖通与空调系统

包含用于以下功能所需的设施和设备：

- a) 维持适合乏燃料贮存设施内运维人员的空气质量,以及设备运行所需的环境条件;
- b) 在乏燃料贮罐操作和暂存期间可以辅助排出乏燃料衰变热。

5.14 消防系统

包含用于预防、探测、控制潜在的火灾和阻止火势蔓延功能的设施和设备。

6 运行工况

6.1 工况分类

高温气冷堆乏燃料贮存设施的运行工况可以按照预计发生的频率分为如下四类:Ⅰ类工况为正常运行工况,Ⅱ类工况为异常或故障工况,Ⅲ类工况为稀有事故工况,Ⅳ类工况为极端事故工况。各工况内容如下。

- a) Ⅰ类工况。在正常运行期间会定期或频繁发生的工况,包括但不限于:
 - 1) 乏燃料贮罐的装料、移动和吊装;
 - 2) 乏燃料贮罐放入贮存井或从贮存井中回取;
 - 3) 乏燃料贮罐吊装至贮存区或转运区;
 - 4) 货包的接收、检查和吊装;
 - 5) 乏燃料贮运设备维护,如检查、润滑和更换易损件等。
- b) Ⅱ类工况。在正常运行期间应不会定期发生,但预计会有较大可能性发生的工况,包括但不限于:
 - 1) 短时失去外部供电;
 - 2) 单台能动设备故障;
 - 3) 乏燃料衰变热排出设备普通故障,如单台风机故障,可通过维修或切换短时间内恢复运行;
 - 4) 乏燃料转运设备的普通故障,如单一电机故障,可通过维修或更换短时间内恢复运行。
- c) Ⅲ类工况。在正常运行期间发生可能性很小的事故工况,包括但不限于:
 - 1) 较长时间失去外部供电;
 - 2) 乏燃料衰变热排出设备严重故障,如多台风机同时故障,需要较长的时间才能恢复运行;
 - 3) 乏燃料转运设备的严重故障,如多台电机同时故障,需要较长的时间才能恢复运行。
- d) Ⅳ类工况。在正常运行期间预计不会发生的事故工况,但这些工况的潜在后果较严重或处理困难,此类工况包括但不限于:
 - 1) 乏燃料贮罐吊装跌落;
 - 2) 货包倾翻或跌落;
 - 3) 衰变热排出的通风系统堵塞;
 - 4) 极端工况,如火灾、洪水、龙卷风和地震等。

6.2 功能要求

6.2.1 乏燃料输送与装料区

乏燃料输送与装料区的功能要求为：

- a) 在Ⅰ类、Ⅱ类、Ⅲ类、Ⅳ类工况下，元件输送和装料涉及设备和管道的辐射防护应满足 ALARA（合理可行尽量低）原则；
- b) 在Ⅰ类工况下，乏燃料元件应能正常输送和装入乏燃料贮罐；
- c) 在Ⅱ类、Ⅲ类、Ⅳ类工况下，乏燃料贮罐应保证包容边界完整。

6.2.2 乏燃料贮罐操作区

乏燃料贮罐操作区的功能要求为：

- a) 在Ⅰ类工况下，乏燃料贮罐操作区主要设备应能正常运行，并可防止未授权的进入；
- b) 在Ⅰ类工况下，应能通过监视系统监控乏燃料贮罐操作区设备的运行状态；
- c) 在Ⅰ类工况下，乏燃料贮罐操作区的通风设备应能正常运行；
- d) 在Ⅰ类、Ⅱ类，应维持乏燃料、主要设施和设备的温度低于限值；
- e) 在Ⅲ类、Ⅳ类工况后，应能保证不影响公众安全。

6.2.3 乏燃料贮罐贮存区

乏燃料贮罐贮存区的功能要求为：

- a) 在Ⅰ类、Ⅱ类工况下，应能够对贮存区的气载放射性水平进行探测；
- b) 在Ⅰ类工况下，应对典型乏燃料贮罐或贮存设施进行定期抽样温度监测，以确保乏燃料的贮存安全；
- c) 在Ⅰ类、Ⅱ类工况下，应维持乏燃料和主要结构材料的温度低于相应的限值；
- d) 在Ⅰ类、Ⅱ类工况下，贮存设备和设施应能实现放射性包容的可靠性；
- e) 在Ⅰ类、Ⅱ类工况下，均能实现放射性的可靠包容和辐射屏蔽，并满足临界安全要求；
- f) 在Ⅲ类、Ⅳ类工况后，应能保证不影响公众安全。

6.2.4 乏燃料衰变热排放区

乏燃料衰变热排放区的功能要求为：

- a) 在Ⅰ类工况下，乏燃料衰变热应能正常排出；
- b) 在Ⅰ类工况下，乏燃料衰变热排放设备和管道的运行正常无故障；
- c) 在Ⅰ类、Ⅱ类工况下，乏燃料衰变热排放设备和管道应可及时修复并恢复正常运行；
- d) 在Ⅲ类、Ⅳ类工况后，乏燃料衰变热排放设备和管道经修复后应可用。

6.2.5 乏燃料贮罐转运和货包操作区

——乏燃料贮罐转运区的功能要求为：

- 1) 在Ⅰ类工况下，乏燃料贮罐应能在转运区和贮存区之间安全转运；
- 2) 在Ⅰ类工况下，乏燃料贮罐可安全操作；在Ⅱ类、Ⅲ类、Ⅳ类工况后，乏燃料贮罐应可安全回取；
- 3) 在Ⅰ类、Ⅱ类、Ⅲ类工况下，乏燃料贮罐不应发生会影响放射性包容和临界安全的破损；
- 4) 在Ⅰ类、Ⅱ类、Ⅲ类工况下，乏燃料和主要设备的温度应低于相应的限值；
- 5) 在Ⅳ类工况后，应能保证不影响公众安全。

——运输货包操作区与乏燃料贮罐转运区可以有重叠的空间或区域,其功能要求为:

- 1) 在Ⅰ类工况下,应能对运输货包进行安全装卸;
- 2) 在Ⅰ类工况下,应有监视系统监督运输货包的吊装操作;
- 3) 在Ⅱ类、Ⅲ类工况后,运输货包的吊装设备经修复后应能正常运行;
- 4) 在Ⅱ类、Ⅲ类工况后,应能实现运输货包封盖和运输附件的安全操作;
- 5) Ⅳ类工况后,应能保证不影响公众安全。

6.2.6 乏燃料电控设备操作区

乏燃料电控设备操作区的功能要求为:

- a) 在Ⅰ类工况下,乏燃料控制台和电控柜应能稳定运行,可靠执行操作指令;
- b) 在Ⅰ类工况下,乏燃料电控设备操作区的环境参数满足电控设备的运行要求;
- c) 在Ⅱ类、Ⅲ类工况后,乏燃料控制台和电控柜经修复后应能正常运行;
- d) 在Ⅱ类、Ⅲ类工况后,应有监视系统监督乏燃料控制台的操作;
- e) 在Ⅲ类、Ⅳ类工况后,乏燃料电控设备操作区应使人员可达并确保安全。

6.2.7 乏燃料贮存构筑物

乏燃料贮存构筑物的功能要求为在Ⅰ类工况下,以及在Ⅱ类、Ⅲ类、Ⅳ类工况后,构筑物应保持结构完整。

6.2.8 放射性废物管理系统

高温气冷堆乏燃料贮存设施放射性废物管理系统的要求为在Ⅰ类工况下,以及在Ⅱ类工况后,应对放射性废物进行收集。

6.2.9 供电、仪控和通信系统

高温气冷堆乏燃料贮存设施供电、仪控和通信系统的要求为:

- a) 在Ⅰ类工况下,通信和报警系统应可用;
- b) 在Ⅰ类工况下,供电系统应能给乏燃料贮存设施内的用电设备进行供电;
- c) 在Ⅰ类工况下,乏燃料贮存设施照明系统应可用;
- d) 在Ⅰ类工况下,放射性物质包容相关的监测仪表应可用;
- e) 在Ⅰ类、Ⅱ类工况下,乏燃料贮存设备的故障应可探测,必要时可触发报警;
- f) 在Ⅰ类、Ⅱ类、Ⅲ类工况下,辐射监测系统应可用;
- g) 在Ⅰ类、Ⅱ类、Ⅲ类、Ⅳ类工况下,应急通信系统应可用。

6.2.10 暖通与空调系统

高温气冷堆乏燃料贮存设施暖通与空调(HVAC)系统的功能要求为:

- a) 在Ⅰ类工况下,应控制乏燃料贮存设施内环境参数满足运行要求;
- b) 在Ⅰ类工况下,应能对放射性气溶胶进行有组织排放;
- c) 在Ⅰ类工况下,以及在Ⅱ类、Ⅲ类、Ⅳ类工况后,应能对乏燃料贮存设施向环境释放的流出物进行监测;
- d) 在Ⅰ类工况下,以及在Ⅱ类、Ⅲ类、Ⅳ类工况后,应使气流从潜在未污染或受污染程度较轻区域向潜在污染区域流动,或各舱室设置相对独立的通风口。

6.2.11 消防系统

高温气冷堆乏燃料贮存设施消防系统的功能要求为:

- a) 在Ⅰ类工况下,以及在Ⅱ类工况后,乏燃料贮存设施消防系统应可用;
- b) 在Ⅰ类工况下,以及在Ⅱ类工况后,乏燃料贮存设施火灾探测系统应可用;
- c) 在Ⅲ类、Ⅳ类工况下,消防系统动作不应降低乏燃料贮存设施和设备的放射性包容功能;
- d) 在Ⅳ类工况下,应考虑消防水或其他介质对贮存设施和设备的潜在影响并采取措施;
- e) 在Ⅳ类工况下,应阻止火势蔓延至可能影响放射性物质包容功能的区域。

6.2.12 临界安全

高温气冷堆乏燃料贮存设施临界安全的功能要求为:

- a) 在Ⅰ类、Ⅱ类、Ⅲ类、Ⅳ类工况下,应使高温气冷堆乏燃料在贮运期间始终保持次临界状态;
- b) 在Ⅰ类、Ⅱ类、Ⅲ类、Ⅳ类工况下,高温气冷堆乏燃料临界分析可采用经认可的燃耗信任制开展计算。

6.2.13 辐射防护

高温气冷堆乏燃料贮存设施辐射防护的功能要求为:

- a) 在Ⅰ类、Ⅱ类、Ⅲ类、Ⅳ类工况下,职业照射水平应满足 T/CNS 22—2020 规定外,还应满足 ALARA 原则;
- b) 根据 GB 6249,对Ⅰ类、Ⅱ类、Ⅲ类、Ⅳ类工况提出辐照限值。

7 系统设计要求

7.1 乏燃料输送与装料区

7.1.1 设计要求

高温气冷堆乏燃料输送与装料设备的设计要求包括:

- a) 在线卸料的乏燃料输送管道上应设置计数装置,以实现乏燃料贮罐内元件数量的统计;
- b) 设备布置应尽量远离放射性区域;
- c) 设备材料应能承受其设计寿期内的累计辐照剂量,如无法承受则要求该材料可定期更换;
- d) 设备在失去动力后不应影响系统的安全,并在恢复动力后可继续稳定运行;
- e) 乏燃料输送与装料设备如发生故障,不应导致乏燃料屏蔽丧失,也不应影响衰变热的安全排出;
- f) 系统和设备应能承受瞬态下的载荷和冲击。

7.1.2 检查与维修要求

乏燃料输送与装料设备的检查与维修要求有:

- a) 宜利用大修期间定期开展,尽量不影响系统的正常运行;
- b) 应设有用于设备检查和维修人员出入的安全通道;
- c) 所有远程操作的设备应便于检查和维修,并应根据其运行情况和预期寿命进行定期检查和维修;
- d) 检查与维修的专用工具应便于维护和存放;
- e) 检查与维修后设备应恢复至正常运行的状态或位置。

7.2 乏燃料贮罐操作区

7.2.1 设计要求

高温气冷堆乏燃料贮罐操作区转运和装卸设备的设计要求包括:

- a) 设备布置应尽量远离高放射性水平区域；
- b) 设备材料应能承受其设计寿期内的累计辐照剂量,如无法承受则要求该材料可定期更换；
- c) 操作乏燃料贮罐和运输货包盖板的抓具、工具等应设计成远程或自动控制；
- d) 乏燃料贮罐和运输货包装卸设备应设有冗余或采用保守设计；
- e) 操作乏燃料贮罐和运输货包盖板的抓具,如设计有控制系统,则应有指示抓取到位的功能；
- f) 吊车应设置冗余限位和联锁,防止位移超限对乏燃料贮罐造成损害；
- g) 转运和装卸设备的能动部件在失去动力时应仍能承受额定载荷；
- h) 存放乏燃料贮罐的结构应设有吊装导向装置,提升设备应能指示乏燃料贮罐吊装状态；
- i) 乏燃料贮罐操作区应设置远程观察设备；
- j) 转运和装卸设备如发生故障,不应导致负载跌落和屏蔽丧失,也不应影响衰变热的安全排放；
- k) 系统和设备应能承受瞬态下的载荷和冲击。

7.2.2 检查与维修要求

乏燃料贮罐转运和装卸设备的检查与维修要求有：

- a) 宜利用大修期间定期开展,尽量不影响系统的正常运行；
- b) 应设有用于设备检查和维修人员出入的安全通道；
- c) 所有远程操作的设备应便于检查和维修,并应根据其运行情况和预期寿命进行定期检查和维修；
- d) 转运和吊装用起重机类设备应根据相关的标准要求进行检查和维修；
- e) 检查与维修的专用工具应便于维护和存放。

7.3 乏燃料贮罐贮存区

7.3.1 设计要求

高温气冷堆乏燃料贮罐贮存区的设计要求包括：

- a) 乏燃料贮存区设施和设备应能承受所有工况下的荷载,并且不会对乏燃料衰变热排出、临界安全以及辐射防护产生不利影响；
- b) 乏燃料贮存区的材料选择应考虑寿期内的腐蚀防护,并能承受寿期内的辐照和衰变热引起的高温；
- c) 贮存区乏燃料衰变热排放设施和设备的设计应满足各类工况包括极端气候条件下的性能要求；
- d) 乏燃料衰变热功率的计算,应根据燃料参数、反应堆运行和衰变时间,通过经认可的计算方法实施；
- e) 乏燃料贮罐的设计除考虑各类工况的载荷,还应根据贮存环境条件和设计寿期,考虑适当的腐蚀裕度；
- f) 乏燃料贮罐的设计温度应综合考虑材料的耐温限值和贮罐最高的预期工作温度；
- g) 乏燃料贮罐的设计压力应综合考虑温度的变化,并留有足够的安全裕量；
- h) 应为各贮存井位置提供清晰可见的标识,并在适当位置可靠固定；
- i) 贮存区和乏燃料贮罐的设计应避免发生可能导致污染物泄漏和积聚的工况；
- j) 贮存区设备设计应尽量避免贮罐事故损坏,如发生极端工况的跌落,应仍能对贮罐进行回取操作；
- k) 在所有工况下,贮存区设施和设备均应使乏燃料处于次临界状态,并应保证放射性物质的安全包容。

7.3.2 检查和维修要求

高温气冷堆乏燃料贮罐贮存区的检查和维修要求：应通过屏蔽等方式，保证在检查和维修过程中不会对人员造成过量照射，并应满足 ALARA 原则。

7.4 乏燃料衰变热排放区

7.4.1 设计要求

高温气冷堆乏燃料衰变热排放区的设计要求包括：

- a) 乏燃料衰变热排放区设施和设备应能承受所有工况下的荷载，并且不会对衰变热排出产生不利影响；
- b) 乏燃料衰变热排放区设施和设备材料的选择应考虑寿期内的腐蚀防护，并能承受寿期内的辐照和衰变热引起的高温；
- c) 乏燃料衰变热排放设施和设备的设计应满足各类工况，包括极端气候条件下的性能要求；
- d) 乏燃料衰变热排放设备的设计温度应综合考虑材料的耐温限值和最高的预期工作温度；
- e) 乏燃料衰变热排放设备的设计压力应综合考虑温度的变化，并留有足够的安全裕量；
- f) 乏燃料衰变热排放设备应设置清晰可见的标识，并在适当位置可靠固定；
- g) 乏燃料衰变热排放设施和设备的设计应避免发生可能导致污染物泄漏和积聚的工况；
- h) 如采用强制通风方式排放乏燃料衰变热，应考虑所有通风设备失电或故障后的应对措施；
- i) 如采用开式通风方式排放乏燃料衰变热，应考虑进风口和排放口采取冗余设计防止局部阻塞。

7.4.2 检查和维修要求

高温气冷堆乏燃料衰变热排放区的检查和维修要求包括：

- a) 对乏燃料衰变热排放区主要设备（如风机、阀门等）应进行定期检查和维修；
- b) 在检查和维修过程中应不会对人员造成过量照射，并应满足 ALARA 原则；
- c) 乏燃料衰变热排放区设备的设计应便于检查和维修。

7.5 乏燃料贮罐转运区

7.5.1 设计要求

乏燃料贮罐转运区的设计要求包括：

- a) 转运区设备设计应能使乏燃料贮罐在正常运行和事故后均保证包容边界完整，不影响放射性物质的安全包容；
- b) 乏燃料贮罐进出转运区都应进行记录，并在核材料衡算系统中进行登记；
- c) 乏燃料贮罐转运区设施和设备的设计应使乏燃料始终处于次临界状态；
- d) 对放射性包容起重要作用的设备应置于安全位置并应加以防护，防止转运设备的动作对其造成损坏；
- e) 操作乏燃料贮罐的抓具应设计成远程或自动控制，能动部件在失去动力时应仍能承受负载；
- f) 操作乏燃料贮罐的抓具控制系统的设计应能指示抓取到位的状态。

7.5.2 检查和维修要求

乏燃料贮罐转运区的检查和维修要求包括：

- a) 乏燃料贮罐转运区设备检查与维修应尽量不影响系统的正常运行；
- b) 转运和吊装用起重机械类设备应根据相关的标准要求进行检查和维修；

- c) 应设有用于设备检查和维修人员出入的安全通道；
- d) 所有远程操作的设备应便于检查和维修,并应根据其运行情况和预期寿命进行定期检查和维修；
- e) 检查与维修的专用工具应便于维护和存放。

7.6 乏燃料运输货包操作区

7.6.1 设计要求

乏燃料运输货包操作区的设计要求包括：

- a) 运输货包操作区应有足够的空间,以便操作人员能在运输货包周围通行和操作；
- b) 对车辆进行装卸作业的地面应平坦水平;有轨道的表面应使轨道和周边地面位于同一水平面上；
- c) 对放射性包容有重要作用的设备应置于安全位置并应加以防护；
- d) 运输货包吊装操作设备应适用于乏燃料贮存设施进行装卸的货包；
- e) 运输货包操作区转运和吊装设备在发生故障丧失部分功能时,不应造成运输货包事故移位或跌落；
- f) 运输货包操作区如发生极端工况的跌落,不应影响运输货包的包容功能；
- g) 应为运输货包操作和固定的专用工具和附件提供存放空间；
- h) 在必要时应有能力对运输货包及其辅助设备的外表面进行去污,并能收集去污所产生的废物并进行处置；
- i) 应对运输货包装卸和运输安全所需的参数进行监测,如运输货包的温度、表面剂量等。

7.6.2 检查与维修要求

乏燃料运输货包操作区的检查和维修要求包括：

- a) 乏燃料贮罐转运区设备检查与维修应尽量不影响系统的正常运行；
- b) 转运和吊装用起重机类设备应根据相关的标准要求进行检查和维修；
- c) 应为运输货包、车辆及安装好设备的检查和维修预留安全进出通道；
- d) 所有远程操作的设备应便于检查和维修,并应根据其运行情况和预期寿命进行定期检查和维修；
- e) 应有合适的设备和空间以便进行维修操作；
- f) 需要进行检查或维修的设备应可以去污；
- g) 对于导致操作人员所承受的辐射剂量高于正常水平的日常维修工作,应有远程操作手段；
- h) 检查与维修的专用工具应便于维护和存放。

7.7 构筑物

乏燃料贮存构筑物的设计要求包括：

- a) 乏燃料贮存构筑物及其基础的设计应考虑地震和内外部灾害载荷的影响；
- b) 应在乏燃料贮存构筑物内设置收集废液的集水坑和排水设施,防止废液不受控地排入环境；
- c) 乏燃料贮存构筑物的布置应符合 ALARA 的要求；
- d) 乏燃料贮存构筑物的设计应满足工业安全要求；
- e) 设计阶段应考虑乏燃料贮存构筑物在永久性退役时的要求,如构筑物应便于去污,放射性废物和被污染构件的数量应尽量少。

7.8 核材料衡算系统

高温气冷堆乏燃料贮存期间核材料衡算系统的设计要求包括：

- a) 需配备乏燃料贮存的核材料衡算系统,以便于对乏燃料的接收、贮存和运输进行记录。采用计算机辅助系统时,记录的保存应确保单台计算机故障不会导致核材料衡算结果丢失。
- b) 核材料衡算系统应能提供乏燃料贮存设施内乏燃料贮罐的位置等信息。
- c) 乏燃料贮罐罐体或罐盖上应设置编码,并可辨识。

7.9 放射性废物管理系统

放射性废物管理系统设计要求包括：

- a) 放射性废物管理系统应能够用于收集、监测各类放射性废物；
- b) 应避免对未经处理的放射性废物进行场外转运；
- c) 乏燃料贮存设施内放射性废物管理系统的布置应防止放射性废物扩散至未被污染的区域；
- d) 可能积聚放射性物质的部件应便于清洁和维修；
- e) 应配备辐射监测设备监测放射性废物的剂量水平。

7.10 实物保护系统

实物保护系统设计要求包括：

- a) 乏燃料贮存设施实物保护系统应满足放射性物质的安全保护要求；
- b) 实物保护系统应参照 HAD 501/02 进行设计。

7.11 供电、仪控和通信系统

乏燃料贮存设施供电、仪控和通信系统的设计要求包括：

- a) 供电：
 - 1) 应向必要的设备、仪器仪表、应急照明、应急通信和安全系统提供可靠电源；
 - 2) 在衰变热排出系统采用强制冷却方式时,宜设置备用电源；
 - 3) 供电系统的设计还应考虑乏燃料贮存设施实物保护系统的要求。
- b) 仪控：
 - 1) 指示器、记录仪和计量表的位置应易于观测,并宜尽量布置在低辐射区域；
 - 2) 应配备辐射测量仪表监测区域内和周边的放射性水平,同时还应配备个人剂量仪表；
 - 3) 在需要时应配备仪表,监测乏燃料贮运区主要设备关键部位的温度。
- c) 通信：
 - 1) 通信系统的设计应使其能在正常工况下可靠运行；
 - 2) 如果使用便携式无线电系统,则系统应能在乏燃料贮存设施内可靠运行；
 - 3) 通信设备应确保在乏燃料贮存设施内的收听效果。

7.12 暖通与空调系统

乏燃料贮存设施供暖通风与空调(HVAC)系统的设计要求包括：

- a) 应使空气由潜在低放射性污染区域流向潜在高放射性污染区域流动,并设置合适的装置防止回流,也可以为各舱室配备独立的进排风口,防止放射性物质的扩散；
- b) 应对气态流出物进行放射性监测,流出物的放射性水平应符合 GB 6249 的要求。

7.13 消防系统

乏燃料贮存设施消防系统的设计除应遵循 GB 50016、GB 50140 的要求,还需满足如下要求：

- a) 消防及火警设备和管路应尽量设置在大量可燃物品的受保护区域；
- b) 消防系统应使部分失效时不影响整体灭火能力；
- c) 用于具有潜在放射性污染区域的消防设备和管路应易于去污；
- d) 宜在水以及其他灭火剂不适合的区域配备合适的气体灭火系统；
- e) 乏燃料贮存设施应能提供火灾期间的防火区隔离；
- f) 消防设备及管道应按计划进行检查和维护,并应考虑设备和管路检查和维护的可达性。

8 系统安全要求

8.1 临界安全

8.1.1 设计要求

高温气冷堆乏燃料贮存设施临界安全设计要求除应遵循 GB 15146(所有部分)的要求,还需满足如下要求:

- a) 在各类工况下,应确保乏燃料始终维持次临界状态;
- b) 临界安全设计若基于固定式的中子吸收体,应确保其在各类工况下的中子吸收能力;
- c) 包含各种偏差和不确定度计算出的中子有效增殖系数应满足相关规范要求。

8.1.2 临界安全分析

高温气冷堆乏燃料贮存设施的临界安全应通过临界安全分析确保满足规范要求,具体包括:

- a) 在考虑了计算方法的偏倚及其不确定度后,仍满足各类工况下的次临界度要求;
- b) 乏燃料贮存设施的贮存量应假设为设计最大容量;
- c) 应在可信数值范围内选取能够使反应性增大的燃料特性(如材料组成、几何条件或温度),以便获得最大有效增殖系数;
- d) 如果燃料元件的富集度不同,设施和设备的设计通常以具有最高富集度的燃料元件或具有最大反应性的燃料元件为基础,并叠加考虑最佳的慢化条件,进行临界安全分析;
- e) 临界安全分析中如考虑乏燃料内可燃毒物的贡献,应证明其在设计寿期内的有效性,并应考虑随着辐照进行,易裂变材料和可燃吸收体的消耗对反应性带来的竞争效应;
- f) 对于采用燃耗信任制进行临界安全分析的方法需注意以下事项:所有燃料都应假定具有带来最大反应性的某个燃耗水平和富集度值,除非燃耗信任的假定燃耗是依据可靠的计算或测量做出的;应采用保守的核素成分和燃耗分布,并考虑堆芯运行过程和冷却时间等因素对燃料元件核素的影响;
- g) 临界安全分析中应考虑燃料元件燃料颗粒随机分布对临界安全的影响。

8.2 乏燃料衰变热排放

高温气冷堆乏燃料衰变热排放的设计要求包括:

- a) 乏燃料贮存设施和设备应设置衰变热排出系统;
- b) 在确定衰变热排出能力时,应考虑所贮存乏燃料的初始富集度、燃耗和冷却时间等影响因素;
- c) 衰变热排出系统的设计应能将贮存期间乏燃料产生的最大负荷衰变热安全排出。

8.3 辐射防护

高温气冷堆乏燃料贮存设施和设备的辐射防护的设计要求包括:

- a) 在各类工况下,乏燃料贮存设施和设备的辐射防护应满足限值要求,并符合 ALARA 原则;

- b) 乏燃料贮存设施和设备的辐射防护设计应遵守 GB 18871 的规定。

9 设备设计要求

9.1 乏燃料贮罐

乏燃料贮罐的设计要求包括：

- a) 贮罐的设计应能在各类工况下保持放射性包容边界的完整性；
- b) 贮罐材料及密封材料应能耐受乏燃料产生的高辐照环境；
- c) 贮罐的设计压力应综合考虑温度的变化,并应考虑整个贮存期的腐蚀因素；
- d) 贮罐内与乏燃料元件接触的表面不应有毛刺和尖锐棱角；
- e) 对于现场密封焊接的乏燃料贮罐,则焊接设备的设计应能进行远程操作,并在预期的辐射场和温度场内可靠运行,同时应能监测和记录现场焊接焊缝的基本焊接参数；
- f) 对于焊接封闭式贮罐,应通过焊接参数的过程控制来确定封闭焊缝的物理完整性,其中焊接参数通过焊接工艺试验确定；
- g) 对于焊接封闭式贮罐,应对适当的焊接修复程序进行验证,并能通过切割或研磨去除封闭,去除密封设备应能进行远程操作；
- h) 如果需要采用贮罐切割设备来修复有缺陷焊缝或者在外运前移除乏燃料,则该设备的设计应允许在预期的辐射场和温度场内进行远程操作,切割操作不应使燃料元件移除所需操作的部件造成损坏,同时也不应使贮罐主体产生不可接受的变形；
- i) 应可以对贮罐的辐射泄漏进行检测；
- j) 贮罐应能在发生最大可信高度跌落事故后保持对放射性物质的包容,并不影响乏燃料衰变热的排出；
- k) 在发生贮罐跌落事故后,应有措施可以将损坏的贮罐转移至安全的贮存地点。

9.2 贮存井设备

乏燃料贮存井及设备的设计要求包括：

- a) 贮存井的设计应能抗震、防止异物进入,并且应能对进水进行监测；
- b) 贮存井及设备的设计应能辅助乏燃料贮罐的吊装和就位,并能承受在乏燃料装卸和贮存过程中外加载荷的作用(包括跌落事故所产生的载荷)；
- c) 贮存井及设备的设计应使其具有足够的间隙和引入能力,以便在不损坏乏燃料贮罐的情况下进行贮罐的装入和回取；
- d) 乏燃料贮罐放置于贮存井后,贮存井结构(隔墙和井盖)应能提供屏蔽;此外,应对乏燃料贮罐装卸过程中贮存井周围预期的辐射水平进行评价；
- e) 乏燃料贮罐置于贮存井后,应使用井盖对井口进行防护。

9.3 衰变热排出设施和设备

乏燃料衰变热排出设施及设备的设计要求包括：

- a) 应考虑贮存井在最大热负荷时的性能要求；
- b) 乏燃料衰变热排出设施采用开式通风方式时,其进风口和排风口均应设置防护装置,尽量防止鸟类、雨雪等进入贮存井和相连设备及管道；
- c) 乏燃料衰变热排出设施采用开式通风方式时,进风口和排风口的设计应防止在极端气候下被堵塞和水淹；
- d) 乏燃料衰变热排出设施排风口所选材料的特性应能满足排风温度和耐腐蚀性的要求；

- e) 乏燃料衰变热排出设施和设备所选用的材料,均应根据其设计寿命考虑腐蚀裕量;
- f) 乏燃料衰变热排出设施 and 设备的表面应便于去污;
- g) 乏燃料衰变热排出设施采用强制冷却方式时,需要考虑设备的冗余设计。

9.4 转运设备

乏燃料贮罐转运设备的设计要求包括:

- a) 转运用装卸设备应设置急停功能,并与正常操作保持物理隔离,但应处于随时可用状态;
- b) 转运用起升设备和抓具的设计应具备远程操作功能,其设计应使在丧失动力的工况下保持负载防止事故跌落;
- c) 转运用起升设备和抓具的设计应使其升降过程中安全可靠,抓具和相关控制装置的设计应能避免负载的意外脱落;
- d) 转运用专用工具和辅助设备的设计应便于维护和贮存;
- e) 在提升或下降过程中如果存在乏燃料贮罐被凸缘或突出物卡住的可能性,则起重设备应安装有相关装置用于检测提升力的变化,并可实现自动停止运行的功能;
- f) 起重机应采用限位开关和联锁等装置防止出现对所装卸负载造成损坏的超行程动作;
- g) 乏燃料运输容器的屏蔽材料可以为混凝土、不锈钢、铅、碳钢、铸铁或相应组合。

10 质量保证

10.1 质保要求

乏燃料贮存系统应针对起放射性包容作用的重要设施和设备制定和执行质量保证计划。

10.2 质保范围

应制定质量保证计划的乏燃料贮存设施和设备包括但不限于:

- a) 乏燃料贮存井和设备;
- b) 衰变热排出相关设施和设备;
- c) 乏燃料贮罐及吊装设备;
- d) 运输货包装卸设备;
- e) 辐射监测设备。

附录 A

(资料性)

高温气冷堆核动力厂乏燃料贮存系统流程简图

高温气冷堆核动力厂乏燃料贮存系统流程如图 A.1 所示。

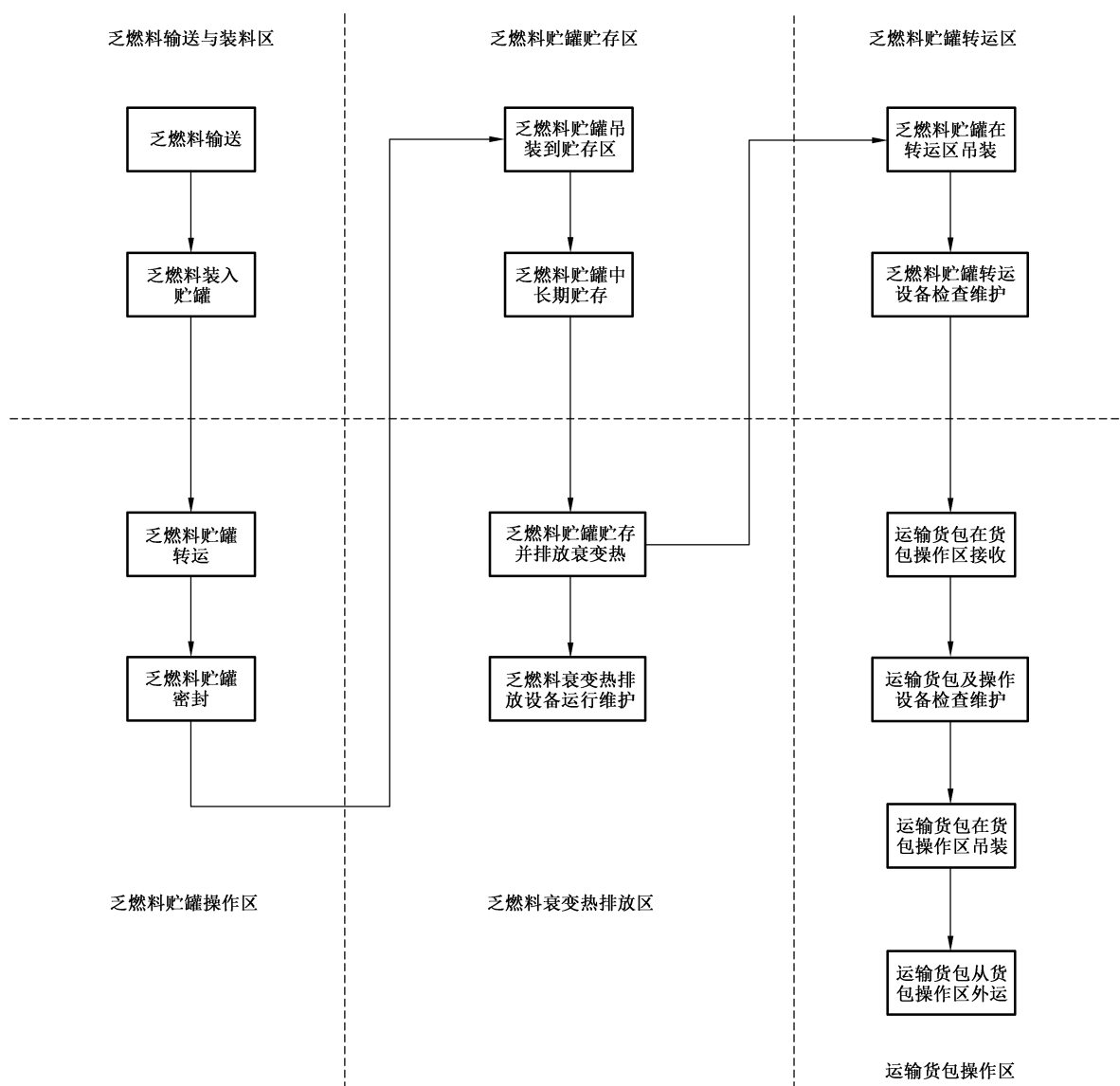


图 A.1 高温气冷堆核动力厂乏燃料贮存系统流程简图

参 考 文 献

- [1] GB 11806 放射性物品安全运输规程
 - [2] GB 50267 核电厂抗震设计标准
 - [3] NB/T 20461 压水堆乏燃料干法贮存设施设计准则
 - [4] NB/T 20462 压水堆乏燃料干法贮存设施热工分析
 - [5] NB/T 20463 压水堆乏燃料转运与干法贮存设施物项分级
 - [6] HAD 102/15 核动力厂燃料装卸和贮存系统设计
 - [7] HAD 301/02 乏燃料贮存设施的设计
 - [8] HAD 301/03 乏燃料贮存设施的运行
 - [9] HAD 301/04 乏燃料贮存设施的安全评价
-

中国核学会
团体标准
高温气冷堆核动力厂乏燃料贮存系统
设计准则

T/CNS 32—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

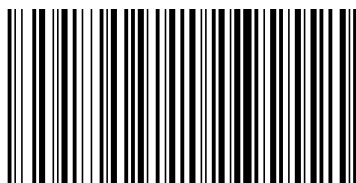
*

开本 880×1230 1/16 印张 1.5 字数 40 千字
2021年8月第一版 2021年8月第一次印刷

*

书号: 155066·5-3477 定价 24.00 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 32-2020



码上扫一扫 正版服务到