

ICS 27.120.30
F 46
备案号: 41463-2013

NB

中 华 人 民 共 和 国 能 源 行 业 标 准

NB/T 20232—2013

代替 EJ/T 719—1992

压水堆核电厂燃料装卸和贮存系统 设计准则

**Design criteria for fuel handling and storage systems of pressurized water
reactor nuclear power plants**

2013-06-08 发布

2013-10-01 实施

国家能源局 发布

前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本标准代替 EJ/T 719—1992《压水堆核电厂燃料装卸和贮存系统设计准则》。与 EJ/T 719-1992 相比，主要变化如下：

- a) 引用标准采用了现行的国家标准和行业标准；
- b) 补充完善了本标准关于运行工况分类和安全分级的相关要求；
- c) 补充完善了本标准的原则要求；
- d) 补充完善了本标准的一般要求；
- e) 补充了其他已辐照部件的装卸和贮存系统的设计要求；
- f) 补充了燃料装卸和贮存系统退役设计要求；
- g) 对部分文字进行了修订。

本标准的编制参考了 ANSI/ANS 57.1-1992《轻水反应堆厂房新燃料贮存设施设计要求》、ANSI/ANS 57.2-1983《轻水反应堆乏燃料的核电厂贮存设施设计要求》、ANSI/ANS 57.3-1983《轻水反应堆燃料操作系统设计要求》。

本标准由能源行业核电标准化技术委员会提出。

本标准由核工业标准化研究所归口。

本标准起草单位：中国核动力研究设计院。

本标准主要起草人：黄新东、黄辉、洪龙、谭宏伟、邓静、任荷、李鑫。

压水堆核电厂燃料装卸和贮存系统设计准则

1 范围

本标准规定了压水堆核电厂燃料装卸和贮存系统设计应满足的设计要求。

本标准适用于压水堆核电厂燃料装卸和贮存系统的设计。

2 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。凡是注年份的引用文件，仅所注年份的版本适用于本文件。凡是不注年份的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB 6249 核动力厂环境辐射防护规定

GB/T 17569 压水堆核电厂物项分级

GB 18871 电离辐射防护与辐射源安全基本标准

HAF 102 核动力厂设计安全规定

HAD 102/11 核电厂防火

HAD 102/15 核动力厂燃料装卸和贮存系统设计

3 术语

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

燃料装卸和贮存系统 Fuel handling and storage system

用于核电厂内装卸和贮存燃料组件及其相关组件的系统。该系统包括，从核电厂接收新燃料组件起，经装堆、堆内运行后卸出、转运、厂内贮存，到装入乏燃料运输容器准备发送出厂整个过程使用的设备、工具、系统和构筑物。燃料装卸和贮存系统由新燃料贮存系统、燃料装卸系统、乏燃料贮存系统等组成。

3.2

燃料损伤 Fuel failure

燃料包壳破损，或定位格架、燃料棒、端部装配件变形或断裂，或燃料组件的总包络尺寸存在不适于在堆内运行征象的统称。

3.3

燃料厂房 Fuel storage building

用于接收、检查、贮存新燃料和贮存、操作乏燃料的厂房。

4 工况划分和物项分级

4.1 工况分类

4.1.1 概述

结合燃料装卸和贮存系统的具体特点,将其工况分为四类:工况Ⅰ、工况Ⅱ、工况Ⅲ、工况Ⅳ。工况Ⅳ是设计上应考虑的最严重的事故,其后果可能导致放射性物质大量释放。

4.1.2 工况Ⅰ:在系统正常运行期间,按预计经常或有规律发生的事件属工况Ⅰ事件。

例如:

- a) 装卸和贮存燃料组件;
- b) 转运燃料组件;
- c) 对在功率运行期间导致反应堆冷却剂放射性活度达到技术规范限值 10%的破损燃料进行贮存;
- d) 在贮存设施内检查燃料组件;
- e) 在乏燃料贮存设施内贮存新燃料。

4.1.3 工况Ⅱ:其发生频度(F)为 $F \geq 10^{-1}/\text{堆} \cdot \text{年}$ 的事件属工况Ⅱ事件。

例如:

- a) 乏燃料贮存水池一台冷却泵出现故障不可用;
- b) 能动部件(如截止阀、控制阀)的误动作;
- c) 操作人员单一误操作;
- d) 非正常情况下的整个堆芯卸出;
- e) 电气或控制系统单一故障;
- f) 乏燃料丧失正常冷却达到 8 h;
- g) 对在功率运行期间导致反应堆冷却剂放射性活度达到技术规范限值 25%的破损燃料进行贮存;
- h) 乏燃料贮存水池衬里出现微小泄漏,这些泄漏能利用放射废物系统按连续泄漏处理。

乏燃料贮存设施设计应保证在工况Ⅱ事件发生时,不能引起乏燃料贮存水池冷却系统、安全壳屏障或任何其他工程安全设施的功能丧失。

4.1.4 工况Ⅲ:其发生频度(F)为 $10^{-1}/\text{堆} \cdot \text{年} > F \geq 10^{-2}/\text{堆} \cdot \text{年}$ 的事件属工况Ⅲ事件。

例如:

- a) 保持放射性液体的边界发生非能动破坏,该破坏可导致受影响的系统不能执行其设计功能;
- b) 丧失厂外电源达到 8 h;
- c) 燃料组件连同其操作工具一起从正常操作高度跌落到乏燃料贮存格架上;
- d) 对在功率运行期间导致反应堆冷却剂放射性活动达到技术规范限值 100%的破损燃料进行贮存;
- e) 乏燃料贮存水池水量过满;
- f) 乏燃料贮存水池冷却系统非抗震Ⅰ类的部分失效;
- g) 水池水闸门密封功能失效引起的泄漏;
- h) 运行基准地震(OBE);
- i) 乏燃料运输容器从控制的正常高度坠落。

4.1.5 工况Ⅳ:在燃料装卸和贮存系统寿期内预计不发生,但假设会发生,其发生频度(F)为 $10^{-2}/\text{堆} \cdot \text{年} > F > 10^{-6}/\text{堆} \cdot \text{年}$ 的事件属工况Ⅳ事件。

例如:

- a) 一组乏燃料组件燃料棒全部断裂；
- b) 乏燃料贮存水池水闸门在其另一侧已排空时意外开启；
- c) 贮存设施的设计基准自然事件；
- d) 乏燃料运输容器从可达最大高度坠落；
- e) 安全停堆地震（SSE）；
- f) 丧失厂外电源达到 7 天。

4.2 物项分级

按照 HAF 102 和 GB/T 17569 的规定，划分燃料装卸和贮存系统的设备、系统和构筑物的安全等级和抗震类别等。

5 设计要求

5.1 原则要求

压水堆核电厂燃料装卸和贮存系统在设计时，应满足以下原则要求：

- a) 应满足 HAF 102、HAD 102/15 的规定；
- b) 应保证在前述四种工况下，燃料不发生临界；
- c) 应贯彻使工作人员在各种工况下遭受的辐射照射合理可行尽量低的原则，并满足 GB 18871 的要求；
- d) 应为已辐照燃料的装卸、转运和贮存提供充分的冷却，保证燃料不过热；
- e) 燃料装卸设备的设计应能防止燃料组件机械损伤或跌落，并避免对燃料组件施加不可接受的装卸应力；
- f) 应保证在各种工况下向厂外非限制区的排放符合 GB 6249 的要求；
- g) 应配置这样一些系统：能在燃料装卸贮存期间检测燃料破损和事故工况所造成的放射性物质的释放量，以及操作人员受到的辐照，并使其保持在可接受的限值内；
- h) 燃料装卸和贮存系统应与其他相关系统一起设计，应保证系统内、外部合适的接口；
- i) 燃料贮存和装卸设施及设备的设计应能对设备检查、试验和维修具有可达性，并便于进行辐射监测和污染检查；
- j) 应保证构筑物、系统和部件有足够的力量来承受可能施加在它们上面的重要载荷（如：楼板载荷、地震和动载荷）；
- k) 应满足 HAD 102/11 的防火要求。

5.2 一般要求

5.2.1 新燃料贮存系统

5.2.1.1 在各种工况下，新燃料贮存格架应具有防止临界的结构和排列。格架中的每一个贮存单元应有足够的间距，以保证燃料操作期间不损坏或破坏燃料组件。

5.2.1.2 为了保证与燃料组件的接触是安全的，新燃料贮存格架应选择与燃料组件材料相容的材料作为贮存单元的表面。接触表面不能用易于碎裂、易于剥落、或者易于在摩擦接触中损坏脱落的涂层。

5.2.1.3 应防止慢化材料（例如水）淹没新燃料干法贮存区。系统计划的干式贮存格架应有一个排水系统用来预防水或者其他适度媒介的积聚。排水系统不允许逆流。排水系统应该要有容纳排放区域中的最大流水管道断裂产生的最大水流的能力。

5.2.1.4 新燃料贮存区应保证不积聚慢化剂（对于干法贮存）。

- 5.2.1.5 应提供充分的手段来检查新燃料并为检查新燃料组件提供场地和设施。
- 5.2.1.6 应保证燃料组件在装卸、检查和贮存的过程中不受损伤，不减少次临界要求的裕量。
- 5.2.1.7 新燃料装卸和贮存区的设计应尽量避免防止新燃料遇火后遭受对安全有影响的破坏。新燃料贮存格架周围设施应该用不可燃而隔热的材料建造。应限制和控制新燃料装卸和贮存区内的可燃物料(例如：可燃包装材料、输送可燃物料的管道系统)。对于向装卸和贮存新燃料的设备供电的电缆的选型和敷设，应不能引起和助长火灾。
- 5.2.1.8 应采取措施以防止燃料丢失或损坏。
- 5.2.1.9 新燃料贮存格架应按抗震Ⅰ类设计。
- 5.2.1.10 当新燃料采用干式贮存时，通风系统应被设计为能减少灰尘或空气中微粒的进入。

5.2.2 燃料装卸系统

- 5.2.2.1 所有装卸新燃料组件或乏燃料组件的设备应能够防止意外临界。
- 5.2.2.2 含有抓取、锁销、转运、转动、支承或提升燃料组件功能的设备，其设计应力应保证不发生能导致燃料组件坠落或损伤的任何零件的结构性失效。
- 5.2.2.3 在设备中应设置机械、电气安全装置，保证：
 - a) 装卸操作按规定程序进行；
 - b) 不发生燃料坠落或被碰撞损伤等事故；
 - c) 燃料组件的提升高度、提升力和下插力处在安全限值的范围内；
 - d) 设备故障或失电时，应有能力移动一组燃料组件或一组控制棒组件，确保被装卸的燃料组件处于安全状态。
- 5.2.2.4 应考虑设备的设计寿期、可维修性和可去污性，以及材料、元器件的耐腐蚀能力。
- 5.2.2.5 设备应根据有关规定或技术文件的要求进行检查和试验。
- 5.2.2.6 应限制与存、取燃料组件或控制棒组件操作无关的重物并且不允许乏燃料运输容器通过燃料贮存区上方。
- 5.2.2.7 设计上应采取必要措施，防止乏燃料运输容器装卸操作时发生坠落、完整性或设计功能破坏的事故。
- 5.2.2.8 设计上应采取必要措施，保证操作或维修时物料(包括油质)不掉入反应堆、燃料组件或乏燃料贮存水池内。
- 5.2.2.9 设计上应保证操作人员能清楚地观察到被操作的燃料组件所处的位置和整体状态。
- 5.2.2.10 燃料装卸装置应当不可能损坏燃料表面的尖锐边缘。
- 5.2.2.11 已辐照燃料装卸和贮存区的设计应防止已辐照燃料及相关设备遇火后遭受对安全有影响的破坏。应限制和控制燃料装卸和贮存区内的可燃物料(例如：可燃包装材料、输送可燃物料的管道系统)。对于向装卸和贮存燃料的设备供电的电缆的选型和敷设，应不能引起和助长火灾。防火设计要保证在万一出现火灾情况时也能保证燃料的次临界。火灾时需使用的可慢化中子的灭火剂(如水、泡沫灭火剂等)，及其它灭火剂都应在贮存区有明显标识和警示。
- 5.2.2.12 应提供充分的手段来检查已辐照燃料。

5.2.3 其他已辐照部件的装卸和贮存

应在装卸和贮存系统中考虑其他已辐照部件的装卸和贮存，例如控制棒组件、可燃吸收体和中子源组件等。

5.2.4 乏燃料贮存水池和乏燃料运输容器装卸水池

- 5.2.4.1 乏燃料贮存水池的水位应保持在燃料设计装量和最低设计水位下具有足够的辐射防护能力，保证逗留该区域工作人员在工况Ⅰ、工况Ⅱ的受照剂量不超过 0.025 mSv/h。
- 5.2.4.2 设计上应保证池水不发生意外排放。水池应按零泄漏设计，并提供水池泄漏探测措施，如分区池水泄漏收集系统。在水池设计中应考虑水池泄漏的应对措施。
- 5.2.4.3 设计上应保证池水的屏蔽深度，防止在工况Ⅲ（不包括乏燃料贮存水池水量过满工况）后可进入区变成高放射性区域而影响恢复工作。
- 5.2.4.4 设计上应保持池内水位在贮存的燃料顶部以上，防止各种工况下的燃料过热。
- 5.2.4.5 设计上应考虑破损燃料的贮存，并与正常燃料隔离，避免池水剂量水平增高。
- 5.2.4.6 乏燃料贮存水池应为已辐照燃料提供足够的贮存空间。
- 5.2.4.7 乏燃料运输容器装卸水池应设计成能接受预期的乏燃料运输容器，应满足容器装卸操作的要求，并且保证不因容器坠落或倾倒而砸伤贮存的燃料组件或损害乏燃料贮存水池结构的完整性。
- 5.2.4.8 乏燃料贮存水池和乏燃料运输容器装卸水池若采用可移动式水闸门或隔板，应将其设计成能承受单侧满水时无泄漏，且在安全停堆地震（SSE）后闸门或隔板仍能保持原位置。
- 5.2.4.9 设计上应为检查乏燃料组件提供场地和设施。
- 5.2.4.10 水池覆面应采用耐腐蚀、耐辐射的材料。覆面应易于清洗去污。
- 5.2.4.11 水池构筑物应按抗震Ⅰ类设计。
- 5.2.5 乏燃料贮存水池冷却、净化和补水系统
- 5.2.5.1 在任何工况下应有能力将已丧失的强迫冷却恢复。
- 5.2.5.2 应具有能力保持池水在工况Ⅰ、工况Ⅱ和工况Ⅲ下的最小屏蔽深度。
- 5.2.5.3 应采用冗余措施来测量水池水位。在燃料厂房内应设置高水位、低水位和低低水位的声音报警。如果水池水位偏离预定限值则在控制室应有显示。
- 5.2.5.4 应具有在工况Ⅳ时向水池补水的能力，以保持水位在贮存的燃料组件以上。
- 5.2.5.5 应具有保持池水低放射性活度的能力，保证操作人员在工况Ⅰ和工况Ⅱ时的辐射剂量率低于 0.025 mSv/h。
- 5.2.5.6 应具有保持和恢复池水目视透明度的能力，以便在工况Ⅰ和工况Ⅱ时观察和鉴别被贮存的燃料组件。
- 5.2.5.7 应具有满足燃料长期贮存需求的水质要求。
- 5.2.5.8 应具有工况Ⅰ和工况Ⅱ下的去污能力。
- 5.2.5.9 设计上应排除在各种工况下流体管道产生虹吸和结冻现象。
- 5.2.5.10 设计上应提供防止水池过满的设施。
- 5.2.5.11 设计时应采取措施尽量避免采用可能导致放射性物质积聚的结构。
- 5.2.5.12 水池冷却系统的设计应满足单一故障准则。
- 5.2.5.13 水池冷却、净化和补水系统的设计应符合相关规范和标准的要求。
- 5.2.5.14 应提供强迫冷却，以保持池水温度在工况Ⅰ的规定温度。应有能力在工况Ⅰ乏燃料全部贮存且燃料最大释热情况下，使乏燃料贮存水池内水的体积平均温度小于 50℃。应有能力在燃料最大释热和工况Ⅱ不同时发生情况下，使乏燃料贮存水池内水的体积平均温度不高于 60℃。
- 5.2.6 乏燃料贮存格架
- 5.2.6.1 乏燃料贮存格架应具有保证次临界安全的结构和排列。
- 5.2.6.2 贮存格架应具有形成自然循环的能力，在各种工况下均可充分冷却被贮存的燃料组件。
- 5.2.6.3 贮存架的材料应与燃料及环境相容，且贮存架结构不应因正常装卸和贮存操作而损伤燃料。

5.2.6.4 应按反应堆寿期内任何时间需要的最大贮存量进行设计。贮存格架内燃料组件的最小贮存容量,至少应为一个正常换料循环中从堆芯卸出的燃料组件最大数量,加上一个完整堆芯的燃料组件的数量。设计时,应在最小贮存容量的基础上,结合换料周期考虑从堆芯内卸出的已辐照燃料发运前在水池内贮存所需的贮存容量后,确定一个不小于上述贮存容量之和的贮存格架贮存量。

5.2.6.5 乏燃料贮存格架应按抗震Ⅰ类设计。

5.2.6.6 乏燃料贮存格架的设计应具有足够安全裕度以承受在倾斜、摇摆、事故超载、运行基准地震(OBE)、安全停堆地震(SSE)等工况下独立或联合产生的载荷。

5.2.7 燃料厂房

5.2.7.1 应为贮存期间的燃料组件提供可冷却和处于次临界几何形状的受控环境和实体保护。燃料贮存区应布置在控制区以内,并设立严格的出入口控制。

5.2.7.2 应为乏燃料运输容器和乏燃料运输容器的接收和发送提供场地和设施。

5.2.7.3 应为乏燃料运输容器的放射性监测、去污和清洗提供场地和设施。

5.2.7.4 应控制出入口,防止在工况Ⅰ和工况Ⅱ时可能产生的污染的扩散。

5.2.7.5 应提供屏障,防止工况Ⅰ、工况Ⅱ和工况Ⅲ时局部火灾的蔓延。

5.2.7.6 应提供隔离和过滤措施,使碘和其他气载放射性同位素的排放控制在GB 6249规定的限值内。

5.2.7.7 应保证在工况Ⅰ、工况Ⅱ和工况Ⅲ时,空气气流只能流入燃料装卸区和贮存区而不能向外泄漏。应保证正常引入的清洁空气气流从低放射性区域流向高放射性区域。应限制由于池水沸腾而导致的污染物扩散。

5.2.7.8 燃料厂房内的温度应适宜人员和设备长时间连续工作。

5.2.7.9 应合理设置放射性监测系统,以防止工作人员受到超剂量照射。

5.2.7.10 燃料厂房布置应考虑防火分区、疏散路线及应急出口。

5.2.7.11 燃料厂房应按抗震Ⅰ类设计。

5.2.7.12 空间剂量监测仪器应在本地和控制室都要提供标志和警报。

5.2.7.13 厂房内应设有灭火装置以及火灾自动探测和报警装置。灭火装置中的材料不能对燃料及设施产生化学影响。

5.2.8 供电、仪表、控制和通讯

5.2.8.1 为各种电气设备提供可靠的电源。电缆的选用应满足相关要求。

5.2.8.2 应为工艺系统和区域提供各种工况下监测直接辐射水平、气体和气载颗粒活度的仪表。

5.2.8.3 应提供能充分识别贮存的燃料组件的照明。用于水下照明的材料应与环境相容,这些材料尤其不能够发生不可接受的腐蚀或对池水造成不可接受的污染。应尽可能提供抗热冲击和防撞击的照明装置。

5.2.8.4 应为各工艺系统提供必要的监测和报警装置,并保证在各种工况下都能保持其功能。

5.2.8.5 应提供各种工况下可用的厂内通讯,以便将信息快速地从控制室传递到燃料装卸贮存区。在燃料操作机、装卸料机、控制室和燃料转运装置的控制台之间应设置通讯系统,这些通讯系统(声能电话、两路对讲机)在丧失厂内、厂外电源时都不应受影响。这些通讯系统的通讯通道应与电站的其它通讯通道区分开以减少或避免干扰燃料装卸操作。

5.2.8.6 应具备为正常操作提供充足、可靠照明的能力。厂房内的照明可以通过固有光源和便携式光源共同提供。所有的光源应有防碎的保护层。燃料厂房内人员可能通过的通道应提供紧急照明。

5.2.8.7 设备和系统在设施内确定的环境条件(不只限于温度、压力和放射性水平)下应能够正常运行。

5.3 临界安全设计

5.3.1 临界安全评定

5.3.1.1 应对燃料组件装卸、转运和贮存的每个系统进行临界安全分析。

5.3.1.2 临界安全分析应论证每个系统在各种工况规定的限值下是次临界的。

5.3.1.3 核临界安全分析应包括各种可信事件，例如：

- a) 燃料组件倾倒；
- b) 贮存格架倾倒；
- c) 燃料组件错放位置；
- d) 燃料坠落；
- e) 吊车等装卸设备吊装时对燃料组件的冲击力；
- f) 燃料组件从贮存格架内完全抽出之前横向运动；
- g) 燃料组件沿贮存格架外侧插下；
- h) 重物掉落在燃料组件上；
- i) 转动机械事故产生的或设计基准事故中的自然事件产生的飞射物。

5.3.1.4 临界安全分析应论证，在装卸或贮存燃料的各个环节，即使有两个独立的异常事件同时发生也能够保持次临界。

5.3.1.5 临界安全分析应清楚地验证燃料组件的次临界特征。

5.3.1.6 临界安全分析应清楚地证明，贮存架在制造或建造后所做的实体验证符合次临界设计限值的要求。

5.3.2 临界计算

在燃料装卸和贮存系统设计的临界计算和安全分析中，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，并在可信的最佳慢化条件下保持足够的次临界度。

若采用燃耗信用制，则应基于经过验证的可信方法。

5.4 退役

根据核电厂退役的总体要求，燃料装卸和贮存系统的设计应考虑便于整个系统内构筑物、设施、设备等将来的退役。

中 华 人 民 共 和 国
能 源 行 业 标 准
压水堆核电厂燃料装卸和贮存系统
设计准则

NB/T 20232—2013

*

核工业标准化研究所发行
北京海淀区骚子营1号院
邮政编码：100091

电话：010-62863505

机械工业信息研究院印制部印刷

版权专有 侵权必究

*

2013年10月第1版 2013年10月第1次印刷
印数 1—200