

附件：

核安全导则 HAD 102/15

# 核动力厂燃料装卸和 贮存系统设计

国家核安全局 2007 年 1 月 23 日批准发布  
国家核安全局

北京 2007

# 核动力厂燃料装卸和贮存系统设计

(2007年1月23日国家核安全局批准发布)

本导则自2007年6月1日起实施

本导则由国家核安全局负责解释

本导则是指导性文件。在实际工作中可以采用不同于本导则的方法和方案，但必须证明所采用的方法和方案至少具有与本导则具有相同的安全水平。

## 目 次

<b>1 引 言</b> .....	8
1.1 概述 .....	8
1.2 目的 .....	8
1.3 范围 .....	8
<b>2 燃料装卸和贮存系统及其功能</b> .....	9
2.1 概述 .....	9
2.2 新燃料 .....	10
2.3 已辐照燃料 .....	11
<b>3 总的设计基准</b> .....	12
3.1 概述 .....	12
3.2 运行状态 .....	13
3.3 假设始发事件 .....	13
3.4 设计基准事故 .....	17
3.5 其他考虑 .....	17
<b>4 新燃料装卸和贮存系统</b> .....	20
4.1 概述 .....	20
4.2 系统设计 .....	20
4.3 设备 .....	24

4.4 支持系统.....	28
4.5 装卸操作.....	29
<b>5 已辐照燃料及其他堆芯部件的装卸和贮存系统.....</b>	<b>30</b>
5.1 概述.....	30
5.2 系统设计.....	31
5.3 设备.....	40
5.4 支持系统.....	43
5.5 操作.....	45
5.6 已辐照燃料拆卸与再组装措施.....	46
5.7 有关破损燃料的措施.....	47
5.8 其它已辐照部件的装卸和贮存.....	47
<b>6 燃料容器装卸.....</b>	<b>49</b>
6.1 燃料容器装卸的设计.....	49
6.2 燃料容器装卸设备.....	50
6.3 装卸操作.....	51
<b>7 多堆核动力厂的燃料装卸.....</b>	<b>51</b>
<b>8 质量保证与文件.....</b>	<b>52</b>
8.1 质量保证.....	52
8.2 燃料组件和其它堆芯部件的标识、位置和移动.....	52
<b>附件 燃料装卸和贮存系统典型流程图.....</b>	<b>53</b>

## 1 引言

### 1.1 概述

本安全导则是对《核动力厂设计安全规定》(HAF 102, 以下简称《规定》)有关条款的说明和补充。

### 1.2 目的

1.2.1 本安全导则的目的是为核动力厂燃料装卸和贮存系统的设计提供指导, 并为实施《规定》所提出的要求提供建议。

1.2.2 本安全导则供核动力厂燃料装卸和贮存系统设计、制造、建造和运行的单位使用, 也适用于国家核安全监管部门对核动力厂燃料装卸和贮存系统设计、制造、建造和运行实施监督管理。

### 1.3 范围

1.3.1 本安全导则主要针对陆上固定式热中子核反应堆燃料组件的装卸和贮存系统的设计。它包括装卸和贮存的所有阶段:

- (1) 核动力厂燃料的安全接收;
- (2) 燃料在使用前的检查和贮存;
- (3) 新燃料装入堆芯;
- (4) 已辐照燃料卸出堆芯;
- (5) 需要时已辐照燃料重新装入堆芯;
- (6) 已辐照燃料贮存、检查和修理以及为了把已辐照燃料从水池移出所作的准备;
- (7) 运输容器的装卸。

本安全导则有限度地考虑了某些堆芯部件的装卸和贮存, 例如

反应性控制装置。如果适用，本安全导则的指导还可用于其它堆型，例如气冷堆和不停堆换料类型的反应堆。

**1.3.2** 如果新燃料（包括铀钚混合氧化物燃料）包含经过后处理回收的易裂变材料，会产生大量的辐射。虽然这样的燃料在装卸时不需要冷却，但是在本安全导则中包含了适用的指导，例如有关屏蔽措施的指导。

**1.3.3** 本安全导则不包括下列内容：

(1) 与燃料和吸收体装入和卸出堆芯有关的各种反应堆物理问题；

(2) 与反应堆装料前的准备工作（例如轻水堆压力容器顶盖和堆内构件的拆卸）和装料后反应堆的恢复工作有关的设计内容；

(3) 运输容器的设计；

(4) 超过核动力厂设计寿命的燃料长期贮存；

(5) 燃料的实物保护或与核材料保障有关的内容；

(6) 在冷却剂内将破损燃料装入运输容器。

## **2 燃料装卸和贮存系统及其功能**

### **2.1 概述**

**2.1.1** 核燃料含有易裂变材料以及辐照后产生高放射性的裂变和活化产物。核动力厂燃料装卸和贮存系统最重要的设计特征是为燃料和堆芯部件的接收、装卸、贮存和回取提供必要的保证，而不会对健康、安全和环境造成不适当的风险。燃料装卸和贮存系统的所有设计特征都与下列目的有关：保持燃料的次临界；保证燃料

的完整性；冷却已辐照燃料；保证辐射防护和安全；防止放射性物质向环境不可接受的释放。

**2.1.2** 对于不同的反应堆设计和核动力厂布置，其燃料装卸和贮存系统的设计各不相同。主要不同是有些反应堆是不停堆换料而有些反应堆在冷停堆状态换料。新燃料可以是在干燥的环境里贮存（干法贮存）也可以在充满水的贮存池内贮存（湿法贮存）。从反应堆卸出的已辐照燃料最初采用湿法贮存。燃料装卸和贮存系统的特性某种程度上依赖于反应堆类型。附录中的四个典型流程图（图A-1至A-4）表示了不同反应堆类型从新燃料接收到最终发运已辐照燃料的装卸和贮存系统。

**2.1.3** 《规定》6.8“燃料装卸和贮存系统”提出了燃料装卸和贮存系统的设计要求。另外，在其它法规中所提出的一般性要求也适用于燃料装卸，例如有关质量保证、运行和厂址评价等方面的法规，这是由于它们分别与设计确认程序的充分性、操作人员的培训与经验、以及在设计中应考虑的外部事件有关。

## **2.2 新燃料**

**2.2.1** 对于大多数反应堆设计，新燃料被接收后先贮存在指定的干燥贮存区域，在此处对这些燃料进行检查和准备。另外，对于许多反应堆设计，尤其对于轻水堆，新燃料在装入堆芯之前还要转移为湿法贮存。对于这种转移和中间湿法贮存，应满足新燃料所有适用的要求，还应加上已辐照燃料相关的要求。需要加以考虑的主要区别是新燃料较高的反应性和显著的低辐射水平。如果燃料是由

经过后处理的铀或回收使用的易裂变材料制造的（例如是由铀钚混合氧化物燃料制造），对操作人员的辐射防护仍然是需要的。

**2.2.2** 未辐照燃料组件或燃料元件的损坏，可能导致燃料物质直接释放。然而，所担心的更大安全问题是将破损燃料装入反应堆的可能性，这可能损害安全运行而导致严重的危险。应通过采用适当的新燃料装卸和贮存方法，始终保证燃料的完整性；并且应在使用之前对燃料进行监查，将破损燃料装入反应堆堆芯的风险降到最低。

### **2.3 已辐照燃料**

**2.3.1** 乏燃料从反应堆卸出时起到装入乏燃料容器运出反应堆厂址（去进行后处理或作为放射性废物处置）为止，乏燃料贮存设施要保证既满足辐射安全又满足保安的要求。该设施包括乏燃料的装卸、贮存和转运等系统。这些系统的主要安全功能就是保证燃料在任何时候保持在次临界状态，保证燃料包壳的完整性，燃料得到充分冷却以排出余热，放射性物质得到包容，对健康和安全没有不适当的风险或对环境没有不适当的危害。

**2.3.2** 已辐照燃料是装在带屏蔽的并有充分冷却的运输容器内进行运输的，这些运输容器的内部可以是干燥的或部分充以冷却剂的。运输容器有一个内部构件使燃料在运输过程中保持预先规定的排列方式。给运输容器的装料，可以在贮存水池中规定区域的水下进行，或者在独立的运输容器装料池中进行，或者采用干法装料。燃料可以先放入一个篮子里，然后再装入运输容器。无论在厂内或

厂外，容器装卸系统都应保证容器能够以满足适用要求的方式被接收、装载和做运输准备。

### **3 总的设计基准**

#### **3.1 概述**

**3.1.1** 燃料装卸和贮存系统的设计应保证在装卸和贮存中燃料的完整性和性能。无论任何时候都要执行下列基本安全功能，以防止辐射对核动力厂人员和公众造成健康影响：

- (1) 保持燃料的次临界；
- (2) 排出已辐照燃料的余热；
- (3) 包容放射性物质。

应根据有关导则的要求保证辐射防护，并应用合理可行尽量低原则。

**3.1.2** 在设计过程中，对正常的运行状态以及可信的异常状态，应使用经验证的工程实践并结合适当选定的输入数据和假设。在设计过程中应考虑从相似设施获得的经验反馈，并且应将人因差错（作为事件或事故的组成部分）降到最低程度。在遵循这些建议时，应当应用纵深防御原则（见HAF 102）。

**3.1.3** 在设计过程中，只有经验证的方法才可用于预测燃料贮存系统的运行状态和设计基准事故的后果。相应地，输入数据应既具有真实性又具有保守性，并应覆盖运行状态和设计基准事故。当输入数据、分析或预测存在不确定性时，就应为它们确定适当的容差，并进行敏感度研究。

## **3.2 运行状态**

**3.2.1** 燃料装卸和贮存系统的设计应保证在所有运行状态下都能够安全地执行其功能。应规定与正常运行有关的设计参数。对于不停堆换料系统，应规定允许换料的反应堆运行条件（例如反应堆功率水平和冷却剂流速），并应在保证符合该条件下换料。

**3.2.2** 设计应要求并应保证在任何换料操作开始之前重要的服务设施的可利用性已经具备（例如，电动吊车的重要供电系统、冷却系统或净化系统存在不可接受的故障时，或者包容边界的和通风的监测系统不可运行时，不应进行换料操作）。

## **3.3 假设始发事件**

应对可能影响燃料装卸和贮存系统及其相关厂房设计的假设始发事件的后果进行分析。假设始发事件应根据确定论和概率论方法进行选择，其事件清单应包括下述段落中的事件。这些事件可以分为两类：发生在核动力厂内的事件和通常由核动力厂外部原因引起的事件。

### **3.3.1 内部事件**

#### **3.3.1.1 重物跌落**

重物跌落到安全相关物项（例如跌落到贮存的燃料组件上或落入燃料池里）是一种潜在的危害。设计应避免在贮存燃料的上方移动重物的可能性，以防止任何重物砸在贮存的燃料和其他安全相关物项（例如燃料组件、贮存格架、燃料池或燃料池衬里，以及燃料厂房）上。提升设备的可靠性应达到这样的程度，即对重物的跌落

可以放心地不予考虑，例如使用满足单一故障准则要求的起重机。为了确定其潜在后果，应对跌落重物进行分类考虑，例如运输容器或盖、转运容器和多用途密封盒或筒、燃料或燃料贮存格架、以及动力操作或手动操作工具等。设计者应依据3.5.3.1的指导评价燃料装卸事故的可能性。

#### **3.3.1.2 设备故障**

设计应保证无论在贮存设施内还是贮存设施外的设备或系统的可信故障后果都不会超过允许极限。这些事件的例子有：可能导致燃料水池水温度升高或沸腾的冷却系统故障；水中中子吸收剂的稀释；燃料组件卡在不适当的位置；一组贮存格架的侧向移动；超过了换料机钢丝绳的设计荷载；不适当的移动导致燃料破损以及不能安全地完成所要求的操作。

#### **3.3.1.3 内部水淹**

对于中子慢化被用作控制目的以及在干燥条件下进行燃料装卸和贮存的地方，应防止内部水淹，以避免意外临界。为了防止安全相关设备（例如乏燃料监测系统和冷却系统）无法运行或误动作，也应提供防止内部水淹的保护。

#### **3.3.1.4 反应堆冷却剂丧失事故或卸压**

对于所有的贮存区域，应确定假设的由反应堆造成的事件的影响，以便评价是否有合适的附加保护措施，以应付中子慢化的可能变化和对设备的影响。对于不停堆换料，应确定冷却剂丧失事故或卸压对换料机和燃料装卸运行的影响。

### **3.3.1.5 内部飞射物**

应考虑由旋转机械故障、承压部件破裂或其他可信途径产生的飞射物，必要时并应提供防护，以便保证不存在安全上不可接受的后果。尤其需要考虑气体和常规燃料的贮存及其相关的运输安排，以防止潜在爆炸产生的飞射物。

### **3.3.1.6 火灾与爆炸**

应确定火灾对干法贮存燃料、对贮存在水池内燃料的冷却能力或对设备的重要供电的损害的可能后果。应考虑灭火剂对贮存燃料的次临界状态的影响。

应考虑核动力厂或核动力厂邻近的假设爆炸引起的冲击波的影响。

### **3.3.1.7 操作人员差错**

设计应把限制潜在的人员差错作为一个目标。应对可能的人员差错及其后果进行分析，并在设计中加以考虑，如果可行，应提供联锁装置或其他核对措施，以防止这些差错的发生。

## **3.3.2 外部事件**

### **3.3.2.1 丧失厂外电源**

应设置发生丧失厂外电源时实现所要求的安全功能（例如冷却、监测和通风）免遭危害的电源。

### **3.3.2.2 地震事件**

应进行抗震分析，以便评价地震事件的下列可能后果，并确定安全重要构筑物、系统和部件的适当的抗震类别：

- (1) 重物跌落;
- (2) 由于池壁损坏或管道损坏导致水池内贮存水泄漏和冷却剂系统故障;
- (3) 贮存格架滑动、倾翻或撞在其他物体上;
- (4) 贮存格架变形;
- (5) 固体中子吸收体移位;
- (6) 不停堆换料时, 换料机与承受反应堆压力的流体回路的连接失去完整性;
- (7) 在燃料装卸过程中, 换料机的支承故障、换料机本身故障或运输系统故障;
- (8) 不属于换料系统的故障引起燃料装卸设备故障的可能性;
- (9) 无抗震保护设备的故障导致需要在地震事件中发挥功能的部件或设备的继发故障的可能性。

### **3.3.2.3 狂风和龙卷风**

必要时, 应评价由狂风和龙卷风产生的作用力或飞射物对于燃料装卸和贮存厂房的可能影响。进一步指导参见相关核安全导则。

### **3.3.2.4 洪水**

必要时, 应评价在滨河与滨海核动力厂, 洪水对新燃料和已辐照燃料的安全贮存的可能影响。进一步指导参见相关核安全导则。

### **3.3.2.5 其他外部事件**

必要时, 应评价假设有毒气云、爆炸、飞机坠毁和其他外部事件的可能影响。进一步的指导参见相关核安全导则。

### 3.3.2.6 事件组合

必要时，应采用工程判断和概率安全分析的结果，对可信的事件组合进行考虑。

## 3.4 设计基准事故

燃料装卸和贮存系统的设计基准事故应结合系统设计的边界条件从假设始发事件清单推导出。设计基准事故应包括可能影响反应堆安全的事件（例如重物跌落）。

## 3.5 其他考虑

### 3.5.1 设备分级与鉴定

3.5.1.1 应确定对燃料装卸和贮存设施的安全重要的所有构筑物、系统和部件（包括设备），并根据其预定功能和安全重要性进行分级。

3.5.1.2 应基于确定论方法进行分级，适当时用概率论方法和工程判断作补充。

3.5.1.3 安全重要构筑物、系统和部件应设计成能够承受与其安全分级相对应的假设始发事件，并经鉴定合格。非安全相关设备的缺陷或故障，不应直接或间接导致安全相关设备的故障。

3.5.1.4 鉴定程序应包括的物项：新燃料贮存区、乏燃料贮存池、燃料贮存格架、池水冷却系统、提升与装卸设备、电气仪表与控制系统以及相关的厂房。应保证这些物项是根据最适用的规范或标准建造的。

### 3.5.2 布置

应保证燃料贮存设施的实体布置和排列在所有运行状态和在所有的基准事故期间及其后保持燃料的次临界状态。贮存设施应设计成能防止对贮存的燃料造成实体损坏，并且在包括设计基准事故工况在内的所有工况下能保持可冷却的几何布置。

### 3.5.3 辐射防护

3.5.3.1 设计应包括将放射性物质向环境的释放减到最小的系统，以及防止在燃料装卸和贮存过程中燃料破损事故所导致的职业照射和公众照射的系统。应进行极限情况计算，例如，一组实际含有最多裂变产物的燃料组件跌落，继而发生组件内所有燃料棒损坏，在此情况下，证明即使按照最不利的向环境释放的假设，放射性后果也能够保持在允许的限值之内。一些不太保守假设诸如组件全部外围燃料棒损坏，应根据机理的和经验的方法论证。

3.5.3.2 在所有操作中应给核动力厂的人员提供屏蔽保护。应采用包括联锁和行政管理的适当的防护组合，防止已辐照燃料或其他放射性部件被移动到未屏蔽位置。

### 3.5.4 池水

应提供监测池水状态并将其维持在可接受状态的设施，池水状态包括水位、水化学、透明度、活度、水温等。

### 3.5.5 装卸设备

3.5.5.1 装卸设备的设计应保证对于施加于构筑物、系统和部件的静载荷和动载荷都有足够的承载能力。

3.5.5.2 设计的装卸设备应具有高可靠性以防止燃料组件跌落和造成燃料不可接受的装卸应力。装卸设备的设计应保证在燃料移动时发生设备单一故障或单人因差错时不会导致燃料破损。只有那些按照最严格标准设计并且已经进行了合理性证明的特殊物项和部件（例如不停堆换料起吊路径上的高应力部件）可以允许作为设备单一故障准则的例外。尤其应注意铀钚混合氧化物燃料的装卸设备，并应为装卸此类燃料规定适当的要求。

3.5.5.3 应通过机械的或电气的联锁防止在燃料贮存位置或其他安全重要物项的上方移动物体。

3.5.5.4 应有使用手动操作设备规定，以便在燃料装卸系统故障时能够把燃料组件安放到安全位置。

### 3.5.6 检查、试验和维修

3.5.6.1 装卸和贮存设施与设备的设计应为便于设备的检查、试验和维修以及为便于监测辐射和污染提供足够的可达性。

3.5.6.2 应提供检查与鉴定单个已辐照和未辐照燃料组件的方法。

### 3.5.7 破损燃料

3.5.7.1 设计应为可疑或破损燃料元件（或组件）的装卸和安全贮存以及为可能需要进行的破损燃料再组装提供措施。

3.5.7.2 必要时，设计应为燃料装卸和贮存区域的以及设备的去污提供措施。

### 3.5.8 人因

设计应考虑人因，以便促进编制清晰的使人为差错风险减至最少的操作规程。设计应允许验证预定操作和探测可能导致严重安全问题的任何操作错误。

### 3.5.9 退役

在设计阶段就应考虑便于燃料装卸和贮存设施最终退役的措施。

## 4 新燃料装卸和贮存系统

### 4.1 概述

4.1.1 设计应保证新燃料装卸与贮存装置在任何时候都能够执行3.1.1中所述的基本安全功能。

4.1.2 在任何时候和任何地点装卸和贮存新燃料都应保证维持次临界状态，以防止放射性对核动力厂工作人员和公众健康的严重影响和防止放射性物质泄漏。设计应能够在同时发生两项独立的异常事件时保证维持在次临界状态。

4.1.3 新燃料的装卸和贮存区域应保持在适宜的环境条件下，如湿度、温度和清洁空气等。任何时候在该区域内都不允许发生化学污染。

### 4.2 系统设计

#### 4.2.1 次临界度分析

4.2.1.1 应对燃料贮存设施进行分析以证明在所有可能（正常和异常）的配置和条件下，包括在所有可能的临时配置下，整个系统

能够保持所贮存的燃料在次临界状态。假设的条件应包括正常干燥条件、水淹条件、具有或没有蒸汽注射以及完全蒸汽注射条件以确定最苛刻的条件。

4.2.1.2 在确定次临界度时，要用到有效增殖因子 $k_{\text{eff}}$ 或者无限增殖因子 $k_{\infty}$ 的保守计算值。推荐应用以下各点：

(1) 应在考虑所有计算机程序和实验数据的不确定度下证明在所有条件下次临界裕度是充分的；

(2) 如果单个燃料组件的铀富集度是变化的，应使用精确的模型或经计算假设一个保守的燃料组件铀富集度；

(3) 如果各燃料组件的铀富集度不同，设施的设计通常以具有最高铀富集度的燃料组件或具有最高反应性的燃料组件为基础；

(4) 凡燃料设计是可变的和/或任何与燃料有关的数据（如设计、几何形状和材料的技术规格、制造公差和核数据）具有不确定性，应在所有的次临界计算中使用保守计算值。如果需要，应进行敏感度分析以量化这些不确定度的影响；

(5) 贮存设施的贮存量应假设为设计最大容量；

(6) 应不考虑设施中吸收中子的零部件的信用，除非它们是永远固定的，它们吸收中子的能力是能够确定并且它们不会因为任何假设始发事件而被劣化；

(7) 应考虑由于假设始发事件所引起的贮存设备和燃料的几何变形；

(8) 对于预计运行事件，应做出中子慢化的适当保守假设；

- (9) 应考虑中子反射的影响;
- (10) 不同贮存区域的中子去耦假设应通过适当计算证实。

#### 4.2.2 布置

新燃料的装卸和贮存系统布置的有关要求:

(1) 贮存的燃料配置应在任何运行状态和在设计基准事故期间及之后保持在次临界状态;

(2) 新燃料的装卸和贮存区域应予保卫,禁止未经授权的人员进入及未经授权的燃料移动;

(3) 燃料贮存区不得是通向其他非燃料装卸操作区的通道的一部分;

(4) 接收和运出燃料的运输路线应布置得简短,满足安全要求;

(5) 布置应为工作人员提供便捷的应急出口;

(6) 布置应禁止在贮存的燃料上方移动重物,如贮存格架、贮存容器或提升装置等,这些重物的跌落可能会对燃料和安全有关的物项造成损坏。例外情况应证明其合理性;

(7) 布置应保证以规定的和safe的方式接收预定在新燃料区进行装卸和存放未经辐照的堆芯部件;

(8) 应为燃料、其他堆芯部件、贮存容器和装卸设备的必需的移动提供充足的空间;

(9) 应为燃料组件、堆芯部件和贮存容器提供足够的和特定的贮存位置。应切实防止意外地把燃料放置在指定地点以外;

(10) 布置应允许对燃料、燃料装卸设备包括吊车和贮存容器进行检查。应有破损燃料修理和重装空间；

(11) 新燃料的干法贮存区不应安装需要运行人员进行日常定期巡检的任何运行设备（例如阀门或管道）。

#### **4.2.3 防水淹**

**4.2.3.1** 应通过对设施适当的设计防止干贮存区被水或其他慢化材料淹没，以避免由于慢化作用而引起意外临界和燃料的包壳破损。

**4.2.3.2** 在干贮存区的设计中应考虑可能存在的慢化材料。应避免水管通过干贮存区。

#### **4.2.4 防火**

**4.2.4.1** 燃料装卸和贮存区的设计应能够限制新燃料遭受火灾的风险。

**4.2.4.2** 在燃料装卸和贮存区应限制和监视存在的易燃物品（如易燃的包装材料或易燃物品输送的管道系统等）。在该区域应避免出现对新燃料装卸和贮存非必需的供电线路。燃料贮存区的设计应保证在火灾期间和灭火活动时保持次临界状态。中子慢化材料（如水或泡沫）只有其在被证明对次临界度的影响可忽略不计时才可考虑用于灭火。在燃料装卸和贮存区应设置标明可用和不可用灭火材料的警示标识。

#### **4.2.5 材料和结构**

**4.2.5.1** 使用的材料和建造方法应便于表面去污。应考虑所有运

行工况和设计基准事故工况下去污材料和运行环境的相容性。应禁止可导致局部腐蚀的任何进水。

**4.2.5.2** 对于使用固定的固体中子吸收体的贮存系统，在设施的整个运行寿期内必须有措施或方法检验：

- (1) 吸收体确已安装好；
- (2) 吸收体既未失效和缺损也未被低于原设计要求的吸收体材料更换。

#### **4.2.6 装卸铀钚混合氧化物的燃料组件**

**4.2.6.1** 由于铀钚混合氧化物燃料放射性水平高，为了限制对人员的照射，装卸这类新燃料组件时应考虑设置附加的屏蔽。

**4.2.6.2** 由于燃料碎屑的散出会导致额外的化学危险，所以应注意保证燃料的完整性。作为预防措施，在装卸操作时，作用于燃料元件上的垂直提升力应保持在所必需的最小值。

### **4.3 设备**

#### **4.3.1 概述**

**4.3.1.1** 应配置适当的设备进行新燃料的装卸、贮存和检查。通常包括：

- (1) 吊车或轻型起重设备；
- (2) 为燃料装卸专门设计的抓具和其他工具；
- (3) 把燃料翻转至垂直位置的倾翻机（仅用于某些反应堆的设计）；
- (4) 贮存格架；

- (5) 可对燃料棒进行详细全长目视检查的检查台架；
- (6) 用于组装、拆卸和修理燃料的工具；
- (7) 用于校核实体尺寸的工具；
- (8) 适当的污染和临界度监测手段；
- (9) 清洗设施；
- (10) 用于铀钚混合氧化物或经过后处理的燃料的适当的屏蔽装置。

4.3.1.2 燃料装卸设备设计和操作程序应保证在堆芯装料之前和装料期间避免燃料损坏。

#### 4.3.2 设计载荷

4.3.2.1 在设备的设计中，应考虑下述与载荷有关的内容：

(1) 对贮存、检查和装卸设备进行强度计算时，应对设计载荷留有适当的裕量。应规定设计载荷包括考虑静态和动态两种载荷。根据安全分级所规定的地震载荷和来自运行工况和事故工况的载荷（包括非对称载荷）应作为动载荷予以考虑。下列运行载荷应按照同时发生予以考虑：

— 来自燃料组件和其他待贮存的堆芯部件的载荷（如反应性控制装置和燃料盒等的载荷）；

— 来自装卸设备的载荷，包括加速度载荷。

(2) 如果需要运输工具来运送未辐照的燃料组件及其容器，则这些工具必须根据所运送物体的最大重量和最大尺寸进行设计。

(3) 如果要进行燃料翻转，应设置支撑来限制在燃料组件结构

内引起的载荷，以保证不发生损坏。

**4.3.2.2** 由运行载荷产生的应力不得超过各种结构承载材料的许用限值。

**4.3.2.3** 应制定把各种载荷组合起来的方法和准则。还应利用现有标准规定假设始发事件（见本导则第3.3节）对应的许用应力值，这些许用值可能与正常运行时的应力限值不同。在分析中可以计入专门用于限制载荷的设备（如阻尼器、减震器等）的贡献，并应考虑该设备的失效模式。

### **4.3.3 其他设计考虑**

其他设计要求包括：

（1）用于装卸和贮存燃料的设备不应带有尖锐的边角，以免损坏燃料组件表面或影响燃料组件的顺利装入和卸出；

（2）设计应考虑易于燃料组件的装入和卸出。装卸设备的设计应防止燃料和堆芯部件被意外放置到已占用的位置或不适当的位置。可使用计算机化的操作管理系统以防止把燃料意外放置到不适当的位置；

（3）设计应防止出现导致燃料不可接受的尺寸变形的横向、轴向和弯曲载荷；

（4）燃料装卸设备及相关系统应定期校准或者至少在停堆换料期间开始换料活动以前进行校准。用于检查燃料物理尺寸的设备不应被用于其他目的并应定期校准；

（5）当提供固定装置诸如卡夹来固定已就位的燃料组件时，放

置这些固定装置要在可视条件下进行；

(6) 当操作者需要知道装卸设备状态的相关信息(包括燃料组件和/或燃料棒束的位置及抓具的状态)时,应提供适宜的、清楚的和便于定位的指示；

(7) 用于升降燃料组件和其他堆芯部件的设备应设计成对任何部件不会施加不可接受的载荷。为达到此目的,应采用以下机械约束或自动保护装置:

- 限制起升电机的功率；
- 传动机构内使用滑动式离合器；
- 与起升电机或钢丝绳相连接的自动连续载荷传感装置和记录装置；
- 规定的速度限制。

(8) 燃料装卸设备的起升抓具应设计成能够安全地抓住和运送燃料或其他组件,因此:

(a) 在开始提升前,应得到抓具已抓到燃料组件的正确位置上的确切指示；

(b) 断电时,抓具应保持锁紧状态；

(c) 当有载荷时,抓具不得与燃料脱扣；

(d) 抓具应只有在规定的标高才会与它所带的重物脱扣,即使没有载荷时也应如此；

(e) 抓具应配有防止燃料组件脱扣的固有安全装置。

上述(c)项应通过使用机械联锁来实现。(a)和(d)项在可

行时可通过使用自动联锁实现；如果不可行，应制定严格的管理程序；

(9) 为了保证在装卸过程中任何可预见的情况下都容易地将燃料组件置于安全位置，应配备应急手动操作的设备；

(10) 为了避免燃料就位时的横向受力，应提供保护装置以保证燃料装卸设备在进行燃料或堆芯部件升降操作时不会发生水平移动；

(11) 对燃料装卸设备的移动应有保护设施以防燃料发生损坏，如用以防止设备过分接近池壁和在燃料装卸中防止任何意外移动的联锁装置；

(12) 机电和电气保护装置的设计应符合单一故障准则；

(13) 设计应考虑转送装置进入反应堆安全壳的贯穿件，应满足与安全壳相一致的设计要求；

(14) 燃料装卸系统和设备的设计应防止能够降低池水纯度的润滑油及其他流体或物质的泄漏和撒出。要么应防止这些物质进入湿的贮存设施中，要么这些物质最好应能够与燃料、设备和贮存装置完全相容。例如水能够完全与燃料、设备和贮存装置相容，可以用于燃料装卸系统和设备中；

(15) 新燃料在装入堆芯前需要先作湿贮存的设计，根据情况，可应用第5章已辐照燃料的有关建议。

## **4.4 支持系统**

### **4.4.1 概述**

应为新燃料贮存区提供适当的支持系统，典型的支持系统包括：

- (1) 通风系统;
- (2) 疏水系统;
- (3) 仪表和控制系统以及通讯设备。

#### **4.4.2 通风系统**

当燃料组件存放在运输它们的密封运输容器外时，通风设备的设计应当包括过滤装置以防止灰尘或其他气载颗粒进入新燃料贮存区。当未辐照燃料组件和已辐照的燃料组件使用同一通风系统时，系统应根据第5章的要求进行设计。

#### **4.4.3 疏水系统**

在提供疏水系统的场所，疏水系统的疏水能力应能够保证按照最大可能进水率充分排水，并且不应造成备用水源水淹的可能。应考虑疏水系统特别是在池水中包含能够结晶的化学物质时发生堵塞的可能性，并应有检查流动通畅性的安排。

#### **4.4.4 仪表和控制系统以及通讯设备**

应提供适当的仪表和控制系统。在燃料装卸贮存区与控制室之间应有可靠的双路对讲通讯设备。

### **4.5 装卸操作**

**4.5.1 燃料装卸和贮存设备的设计应遵守《核电厂运行安全规定》(HAF103)和《乏燃料贮存设施的运行》(HAD301/03) 中的适用的要求和指导。**

#### **4.5.2 设计应考虑:**

- (1) 在所有运行状态和设计基准事故下安全装卸;

(2) 新燃料运输容器的接收, 包括识别和目视检验以及处理破损的或不合格的燃料;

(3) 适当的检查、试验和维修操作。

4.5.3 设计还应考虑与其他必要操作之间的相互影响; 有要求时, 应包括规程的编制。

## 5 已辐照燃料及其他堆芯部件的装卸和贮存系统

### 5.1 概述

5.1.1 已辐照燃料装卸和贮存设施的设计应保证在任何时候都能够执行3.1.1中所述的基本安全功能。

5.1.2 在任何时候和在贮存已辐照燃料的任何地方, 都应保持次临界状态, 以防止对核动力厂人员或公众造成任何严重辐射影响及任何放射性物质的释放。设计应保证即使有两个独立的异常事件同时发生也能够保持次临界。

5.1.3 设计应有从已辐照燃料排出余热的措施。余热排出能力应符合单一故障准则, 并且热量的排出速率应足以防止那些可能导致放射性物质释放的燃料组件或贮存系统或支持系统不可接受的劣化。应规定余热排出系统的限值参数。

5.1.4 应监测并尽量降低污染水平, 保证核动力厂各区域的安全操作环境, 防止放射性物质不可接受的释放。贮存设施的设计应防止池水向地下水的任何泄漏。

5.1.5 应在放置已辐照燃料和已活化的堆芯部件的所有区域周围提供屏蔽。这是为了保护操作人员, 使他们从裂变产物或活化

物质所受到的直接照射剂量保持在规定限值以下并且合理可行尽量低。

5.1.6 应防止在装卸和贮存期间燃料组件和燃料元件的实体损坏。

5.1.7 应控制冷却介质的水化学，以防止在所有的假设工况下燃料材料、结构部件和水池冷却系统的劣化。

5.1.8 所有系统都应在其整个设计寿期内具有与其故障的潜在后果相适应的足够可靠性。正如专门的设计评价所确定的那样，要获得足够的系统可靠性，根据所采用的贮存技术，也许需要使用耐用的结构材料、多重的关键部件、与辅助设施（例如供电）的功能相一致的可靠性目标、有效的监督计划和有效的维修程序（该程序与设施正常操作相匹配）。

## 5.2 系统设计

### 5.2.1 次临界度分析

除了为保持次临界目的所建立的设计要求之外，还应针对所有的运行状态和设计基准事故期间及其后的工况进行临界分析，证明不会达到临界状态。

在确定次临界的过程中，应使用有效增殖因子 $k_{\text{eff}}$ 或者无限增殖因子 $k_{\infty}$ 的保守计算值。除应遵守4.2.1.2中关于新燃料次临界分析的指导之外，还应考虑下列因素：

(1) 应对因易裂变同位素的积累或吸收中子同位素的衰变而可能增加的反应性留出裕量；

(2) 应对可燃毒物存量留出裕量,该裕量只有当国家核安全监管部 门接受了给出的论证并且该论证考虑了反应性随着燃耗可能增加才能确定;

(3) 如果不能够仅仅凭借配置乏燃料的方法保持次临界,就应在设计时规定用其它方法保持次临界,例如用固定式中子吸收体或者采用燃耗信用。如果池水中包含可溶性中子吸收剂,则只有假设无法提供能够引起池水稀释的补给水时,才可在研究次临界度时加以考虑。可溶性中子吸收剂和燃耗两种信用不应同时应用于相同的贮存区域;

(4) 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,除非燃耗信用的假定是在燃料贮存之前依据确认裂变材料含量或损耗水平计算值的精确测量作出的;

(5) 在所有的临界计算中都应考虑中子反射的效应;

(6) 对于不同的贮存区域的中子去耦假设应使用精确计算的方法核实;

(7) 应考虑可能贮存没有完全“烧乏”的燃料组件。

### 5.2.2 布置

5.2.2.1 在4.2.2 中(1)至(8)的有关指导同样适用于已辐照燃料贮存的布置。

5.2.2.2 指定的物项应贮存在指定的适当贮存位置上。这个要求适用于所有类型的燃料组件、反应性控制装置、假燃料、燃料盒、仪器设备、中子源、其他堆芯部件和其他物项例如贮存容器或运输

容器等。设计容量不得依赖于在未授权位置贮存燃料组件，并且应切实保证不得发生把燃料意外地放置在指定位置之外的事件。

5.2.2.3 应给已辐照燃料提供足够的贮存容量，以允许其从反应堆厂区运出之前，可进行充分的放射性衰变和余热排出。对于铀钚混合氧化物燃料，应考虑更高的余热值。

5.2.2.4 在确定贮存容量是否充分时，应考虑满足在反应堆寿期内任何时间可能发生的最大燃料贮存要求。另外，根据反应堆类型，应对在任何时间为卸载一个整堆芯提供自由空间。还应在设计阶段考虑水池维修的可能性。

5.2.2.5 应为发生泄漏的或受到破损的燃料安排安全贮存。尤其是，安排破损燃料组件的贮存时应在装卸和贮存过程中将易裂变材料的扩散风险减到最小。

5.2.2.6 即使燃料贮存位置已经被最大限度占用，也应有燃料容器安全装卸的措施。燃料容器装卸区域的设计应能够容纳设施中各种各样的燃料容器。

5.2.2.7 其他考虑还有：

(1) 设计应允许接近贮存设施要求定期检查和维修的所有部分（例如，水池覆面板连接焊缝的检查和维修）；

(2) 应为燃料装卸和贮存设备及燃料容器提供去污和检查；

(3) 应为所要求的燃料检查、辨认、拆卸和再组装（包括可能的燃耗测量）提供空间；

(4) 应为堆芯部件和燃料装卸和贮存设备的维修和试验所需

要的工具和设备的存放和使用提供空间。也许还需要留有接收其它燃料部件的空间；

(5) 布置应保证燃料正当的移动、保证燃料和燃料装卸设备不被损坏。

### 5.2.3 防火

设计应限制火灾对已辐照燃料、燃料贮存构筑物、燃料装卸和贮存系统及安全系统等造成危害的风险。

### 5.2.4 材料及结构

5.2.4.1 乏燃料贮存设施的设计应以其设计寿期即规定的运行寿期为基础。设计寿期应包含例行检查、修理和零件更换。

5.2.4.2 乏燃料贮存设施的安全相关的系统和部件应设计成在设施整个寿期内都能够执行其功能。如果不能做到，设计应考虑能安全更换这些物项或系统。

5.2.4.3 结构材料和建造方法的选择应根据国家核安全监管部门认可的标准进行。应考虑材料可能处于高辐照水平下累积的潜在辐照效应。

5.2.4.4 与乏燃料组件直接接触的结构和部件材料应与燃料组件材料相容，并且在贮存过程中不应有外来物质污染燃料而导致严重地降低燃料的完整性。

5.2.4.5 应认真考虑贮存环境对燃料和安全相关部件的影响。另外还应评价贮存环境变化（例如，经过湿-干-湿贮存过程）的任何影响。

5.2.4.6 应考虑乏燃料容器内部和外部腐蚀剂对如燃料包壳或贮存池结构的影响。

5.2.4.7 对于使用固定式固体中子吸收体的贮存系统，应能够证明在设施的整个寿期内：

- (1) 吸收体确实已经安装好；
- (2) 它们不会丧失其有效性或实体完整性或在任何运行状态下被移动；并且在任何事故状态下也不会丧失其有效性、实体完整性或被移动。

允许用计算方法证明其有效性。

5.2.4.8 乏燃料贮存区会出现各种环境条件，例如高湿度、高温和高辐射水平。安全相关物项或系统应进行环境鉴定，并且应确定限值和/或允差，以便当限值或允差被超过之后可以启动补救行动。

### 5.2.5 设计载荷

5.2.5.1 在4.3.2中关于设计载荷的指导也适用于已辐照燃料装卸和贮存设备。

5.2.5.2 应适当限制在正常运行和设计基准事故工况时的载荷以便保证既不引起燃料破损也不引起意外临界，并且也不会引起乏燃料贮存池或装卸设备结构损坏（见第6章有关燃料容器的考虑）。

5.2.5.3 在设计中应考虑下列载荷：

- (1) 由最大数量的已贮存燃料组件、反应性控制装置、毒物组件、假燃料组件和其它可以贮存的部件所产生的载荷；
- (2) 水的静压力；

- (3) 满载容器和其它运输设备引起的载荷;
- (4) 温度引起的载荷;
- (5) 地震载荷;
- (6) 其它静态或动态载荷, 诸如重物坠入燃料池引起的载荷。

5.2.5.4 应考虑构筑物、系统和部件的辐照效应。

#### 5.2.6 池水系统、净化系统和冷却系统

5.2.6.1 在设计时应考虑以下内容:

- (1) 应提供水位监测和温度监测系统;
- (2) 应防止贮存水池满溢。水池的容积应保证在水池冷却系统故障时池水要经历很长时间才能到达沸点;

(3) 补给水系统的设计应能够补偿在所有运行状态和设计基准事故时水的丧失, 并且应使用可靠的水源。该设计还应保证在需要实施应急补给水程序时, 失去屏蔽或失去冷却不会妨碍人员接近;

(4) 管道布置应在出现虹吸效应或任何连接管道破裂时, 乏燃料水池的水位不会降到低于安全淹没所贮存的已辐照燃料的水位。水池的贯穿件应高于安全淹没所贮存乏燃料的水位, 以便将贯穿件失效效应降到最小。

(5) 如果在不同的水池之间使用水闸门, 其设计应能够承受任何一侧的全高度的水压。水闸门底部标高应高出所贮存的乏燃料组件顶部足够的高度, 以维持适当的屏蔽。水闸门的密封材料应具有良好的抗辐照性能。密封的设计应能够承受支持系统(例如压缩空气供应)的丧失。

(6) 应提供泄漏监测系统、泄漏收集系统和泄漏排除系统。

5.2.6.2 对于所有燃料贮存和装卸区域，都应规定并遵守放射性物质的浓度限值。应规定水质要求和大气污染水平。

5.2.6.3 应仅使用符合化学控制指标的水。应提供水的净化系统，其设计应该：

(1) 从水中去除由活化产物、破损燃料和其它材料产生的放射性、离子和固体杂质，以保证由屏蔽水自身引起的辐射剂量率维持在规定的限值之内；

(2) 能够符合池水化学（例如，硼浓度、氯化物含量、硫酸盐和氟化物（如果有此情况）、pH值和电导率）的限值，这些限值是为了运行保持次临界和将腐蚀减至最小而规定的。

(3) 保持水的透明度在可接受水平；

(4) 必要时，采用控制微生物生长的措施；

(5) 如果使用了可溶性硼做临界控制，应防止水池里硼被稀释，并安装硼含量的自动监测和报警系统。

5.2.6.4 应提供去除池水表面的杂质和悬浮颗粒的设施和设备。

5.2.6.5 对于可能增加的放射性物质释放或可以产生悬浮颗粒的操作（例如在燃料再组装期间）应采取措施就地抽取池水并传送至净化系统或就地净化设备。还应采取措施（例如，将通风系统和空调系统吸入口贴近池水表面）防止燃料水池表面气载放射性物质（包括卤素）的扩散。

5.2.6.6 如果裂变产物去除装置（通常是树脂）安装在已辐照燃

料贮存池中，就应为这些装置的长期贮存或处置做出适当安排，以便防止这些装置所收集的裂变产物向环境释放。

5.2.6.7 在所有的贮存区都应提供防止不可接受的污染物积累的系统，并且如果确实发生了积累也要能够使污染降低到可接受水平。管道的设计应将法兰和其它可以沉积放射性物质的结构（例如捕集阱或环形结构）减到最少。

5.2.6.8 燃料池冷却系统的设计应保证：

（1）排出池水产生的最大可能热量，并维持池水温度在正常运行限值之下；

（2）保证燃料包壳的完整性；

（3）控制水位；

（4）控制水的平均温度符合水池衬里和水池结构设计的要求；

（5）限制由于冷却剂蒸发或沸腾（在事故工况时应考虑冷却剂沸腾）而可能引起污染的扩散；

（6）控制湿度以维持该区域内设备（例如过滤设备和电气设备）的可运行性；

（7）操作人员可接受的工作条件；

（8）冷却系统多重性和功能多样性；

（9）符合单一故障准则。

5.2.6.9 确定池水温度限值时应考虑如下因素：设计热负荷，来自水中放射性物质释放，对水池结构和冷却与净化系统部件、贮存区域内的已存放燃料贮存格架和装卸设备的影响，池水丧失，操作

人员的舒适性，以及对辅助设备如电器设备和空气过滤设备的影响。对运行状态和事故工况可以采取不同的限值。水池冷却系统的设计应保证在具有充分可靠性的前提下使池水温度不超过相应的限值。如果在事故工况后会出现池水沸腾或过度蒸发，应规定水池的各结构和各系统的设计限值（最大蒸发速率和最低池水水位）。水池冷却系统应经过鉴定以保证它们在池水接近沸腾时的工况下也能够重新启动。

### 5.2.7 屏蔽

5.2.7.1 设计应保证在操作区域内和燃料装卸系统位置附近的房间和区域内提供充分的辐射屏蔽。在屏蔽分析中，应保守地假设：

（1）所有的可能贮存燃料的位置都装满了燃料，认为所有的燃料都是由最高出力的燃料运行到最大的设计燃耗，如果合适，还认为只经过了保守的冷却时间；

（2）考虑在装卸操作过程中燃料组件达到最大高度的情况下，在燃料组件上面维持最低的允许水位；

（3）换料机械和设备装满了具备最大可信活度水平的乏燃料或已辐照物料，并且位于最不利的位置。

5.2.7.2 应提供水位测量的多重设备，并将其连接到相应控制室的报警系统上。应为所有运行状态和事故工况提供可靠的补给水供给。应考虑由于闸门密封失效而引起池水快速排泄的可能性。在这样的一次排泄之后，应使水位足以防止处理过程中的燃料组件的任何暴露。如果这种情况不能证实，则应通过厂房的设计和建造（例

如采用双重隔离的方法)限制这种排泄的可能性。

**5.2.7.3** 装卸设备的设计应防止将已辐照燃料误放入或提升进入未屏蔽位置。

**5.2.7.4** 为了减少人员的照射,若实际可行,在设计上应为与燃料组件的装载、卸载和装卸操作、修理和更换放射性设备的操作等所有有关过程,提供远距离操作和/或自动化操作以及机械化操作。

## **5.2.8 密封性**

**5.2.8.1** 燃料装卸和贮存区域应按照零泄漏进行设计。伴随特定事故工况的密封性丧失引起的泄漏速率,不应超过补给水能力,以便就放射性材料的释放和水装量的维持而言,保证水泄漏的任何后果都在可接受的限值之内。对于所有的设计,应都能够监测密封性。

**5.2.8.2** 水池设计应有收集任何泄漏水的措施。应能够确定超过许可泄漏限值的泄漏的位置并予以缓解。在水池设计时就应提供当发生泄漏事件时修理贮存水池损坏的方法。应能够进行贮存设施的检查,以便预测任何可能的泄漏和探测任何未被泄漏收集系统收集到的泄漏。应考虑暂时贮存设施,以便修理水池结构和相关装置与设备时,能够转移水池里的物项。

## **5.3 设备**

### **5.3.1 概述**

**5.3.1.1** 应为安全装卸已辐照燃料或其它部件提供设备,无论它们是作为完整的组件或者是组件的零部件,或者是装入专门设计的容器内的组件。这样的设备通常有:

- (1) 燃料装卸设备;
- (2) 燃料转运设备;
- (3) 燃料提升装置;
- (4) 堆芯部件提升装置;
- (5) 燃料拆卸与重组装设备;
- (6) 燃料检查设备;
- (7) 燃料贮存容器的装卸设备;
- (8) 辐射防护设备;
- (9) 去污设备。

5.3.1.2 所有的乏燃料装卸和贮存设备都应符合用于新燃料相似系统的相应要求和5.1中描述的设计要求。

### 5.3.2 设计载荷

在5.2.5中所规定的要求同样适用于已辐照燃料和堆芯部件装卸和贮存的设备。

### 5.3.3 装卸设备

5.3.3.1 除了已辐照燃料和一些其它堆芯部件的装卸和贮存设备相关的要求之外，第4章中关于新燃料装卸和贮存设备的相应要求，经过充分考虑辐射效应后，对已辐照燃料也适用。

5.3.3.2 对于提升燃料组件和其它堆芯部件的设备设计，应使提升限制在固定的和可接受的高度限值之内。设备应定期地重新标定，或者至少（停堆换料的情况下）在换料活动之前标定。

5.3.3.3 应使用某种实体的方法防止把燃料提升得太高，例如用

适当的长杆连接提升抓具与吊车，或者在吊车提升钢丝绳上安装机械止挡。也应有电气联锁防止燃料处于不正确位置时移动换料机。

#### 5.3.3.4 专门的设计考虑如下：

(1) 在水下使用的带空腔的装卸工具应有开孔，这样它们在淹没时能充满水（保持水的屏蔽）而抽出时能排水；

(2) 装卸系统在使用时不出现松动零件；

(3) 如使用工具或常规装卸设施进行与燃料和堆芯部件装卸无关的操作，这些工具和常规设施不应妨碍任何与安全有关的活动。

#### 5.3.4 检查与拆卸设备

5.3.4.1 应提供对燃料组件和其它堆芯部件采用目视或其它方法进行直接的或远距离检查的设备。

5.3.4.2 如果为了保留一些重复使用的零部件（例如燃料盒）需要拆卸燃料，以及如果在贮存之前需要拆卸燃料，应提供适当的拆卸设备。

5.3.4.3 探测破损燃料组件的设备应能够在不进一步损伤燃料结构完整性的前提下探测损坏的已辐照燃料组件。

5.3.4.4 检查设备、再组装和拆卸设备应设计成把辐照的影响降到最低，并防止燃料过热。

#### 5.3.5 贮存设备

在用燃料容器将燃料运离厂区或者用转运设备运至厂区另一贮存区之前，应提供贮存格架或贮存容器这样的贮存设备。有关设计考虑包括：

- (1) 适当的燃料装卸设备应可以到达所有的燃料贮存位置；
- (2) 假设始发事件之后燃料贮存格架不会倾倒或燃料容器不会移动，否则应证明这种移动不会导致任何危险；
- (3) 设备的设计应使在燃料装卸和贮存过程中施加在燃料上的过度的侧向、轴向和弯曲载荷的可能性降到最低；应考虑到由于操作带来的部件尺寸的变化；
- (4) 如有必要倾斜或转动运输容器或贮存容器，该设备的设计就应有支撑燃料的措施，以防止在这些操作中损坏燃料元件；
- (5) 贮存设备的设计应便于拆卸或取出，以便允许燃料贮存格架的大修和燃料池衬里的维修；
- (6) 在贮存设备的设计中应考虑贮存设备所用材料可能的加热效应。应避免间隙内部水的沸腾。贮存栅格的设计应防止任何反应性增加，例如由于在燃料装卸和贮存过程中引入空气或蒸汽引起的任何反应性增加。

#### **5.4 支持系统**

除了4.3.3和4.4中给出的新燃料区域的有关支持系统的指导之外，还要考虑以下指导。

##### **5.4.1 照明设备**

为了能够满意地对燃料组件进行装卸、目视检查和辨认，水池区应配备必要的照明设备。应考虑提供工作区附近的水下照明以及更换水下灯具的手段。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。

应尽可能提供抗撞击或热冲击的照明装置。

#### **5.4.2 池水冷却和净化设备**

5.4.2.1 应提供冷却和净化池水的设备。该设备可用作共用设备以便同时达到冷却和净化目的。如果就地的或便携式排水系统用作净化，其流量加上池水允许泄漏量之和应小于补给水流量。

5.4.2.2 应注意使冷却功能充分可靠。

5.4.2.3 应设置燃料装卸设备和工具的去污设施以及，适用的话，燃料运输容器的清洗与去污设备。

5.4.2.4 应有效地防止安装好的排水系统把水汲取到安全水位以下。

#### **5.4.3 辐射监测系统和通风系统**

5.4.3.1 为保护操作人员，已辐照燃料装卸和贮存区应配备适用的辐射监测设备和报警装置。要有足够数量的辐射监测器以保证对燃料装卸设备操作人员的保护。在已辐照燃料装卸期间可能产生气载放射性物质的场所，应安装连续的空气监测装置。

5.4.3.2 应设置和使用通风及过滤设备，以限制气载放射性物质浓度和释放的可能性。通常通风气流应从较低污染区域向较高污染区流动，防止倒流。通风系统的设计还可预防湿式贮存设施的高湿度，提供可控的无尘环境以便减少灰尘向池水表面的沉积，并预防任何来自易燃或爆炸气体的危险。

5.4.3.3 辐射监测和通风设备必须满足国家有关辐射防护和安全的要求。

## 5.5 操作

### 5.5.1 装卸操作

5.5.1.1 设计应保证执行《核动力厂运行安全规定》（HAF 103）和《乏燃料贮存设施的运行》（HAD301/03）中的专门的要求和指导。

5.5.1.2 设计应考虑：

- （1）所有预定和预期的燃料装卸操作；
- （2）适当的检查、试验和维修操作；
- （3）与其它必要操作之间的相互作用。

5.5.1.3 设计应包括吸收体从堆芯取出过程中保持次临界措施。应根据反应堆的类型采取下列适用的管理和保护措施：

- （1）通过限定用于抽出反应性控制装置所必需设备的措施，限制一次抽出反应性控制装置的数目；
- （2）在抽出带有反应性控制装置的燃料组件之前，先抽出与其相邻的燃料组件；
- （3）在冷却剂内提供足够的吸收体，以保证即使取出了所有的反应性控制装置，亦不会达到临界。

### 5.5.2 不停堆换料

5.5.2.1 核动力厂整个功率运行期间应保持反应堆热传输压力边界的完整性。对于不停堆换料的燃料装卸系统，其设计应符合这一基本原理。在通过安全壳边界传送燃料的过程中，任何时候都要保证安全壳完整性。

5.5.2.2 换料机的完整性应与压力边界的完整性相一致。应使冷

却剂丧失事故和/或乏燃料或反应性控制装置弹出事故发生的几率最小化。

5.5.2.3 为了保证换料操作过程中压力边界的完整性，在压力边界密封装置拆除前和安装后应有验证系统的密封性的手段。

5.5.2.4 当换料机与燃料管道相连接时，应防止会导致破坏压力边界的任何移动。应预防换料机对燃料管道施加过大的载荷。不应因给反应堆系统其它部分带来危害而导致影响反应堆性能。在发生影响反应堆的事件后应能安全地终止任何换料操作。

## 5.6 已辐照燃料拆卸与再组装措施

5.6.1 拆卸设备、再组装设备和装卸燃料元件的设备，应能保证燃料棒的完整性。设计应防止由下列原因产生的载荷引起的燃料可能损坏：提升被拆卸燃料组件或燃料元件、其它装卸操作（例如倾翻）、或燃料包壳变形。

5.6.2 在燃料的拆卸和再组装过程中，应提供可靠的方法排出已辐照燃料产生的余热。

5.6.3 应通过通风系统的适当设计和运行，或冷却空气流动、设备中能够将灰尘或气体积累减至最少的结构特性，防止放射性灰尘和气体的积累。从燃料拆卸设施引出的任何通风气流应过滤，以去除放射性物质。

5.6.4 有关操作屏蔽、防止临界以及燃料和其它组件跌落的设计要求也适用于乏燃料拆卸操作。

## 5.7 有关破损燃料的措施

5.7.1 作为一个潜在污染源，破损燃料应放置在适当的贮存容器里。该容器的设计应能够承受由已辐照燃料余热以及燃料或其包壳与周围水发生的化学反应所产生的温度和压力。

5.7.2 设计应考虑卸出破损燃料组件或其它堆芯部件所采取的操作程序。用于破损燃料操作的专用工具的设计应符合前面提到的有关次临界和屏蔽的要求。应制定允许使用非标准设备的程序，并且应进行严格的管理控制。

## 5.8 其它已辐照部件的装卸和贮存

在装卸系统的设计中，应考虑不包含燃料的其它已辐照堆芯部件的装卸和贮存，例如反应性控制装置或停堆装置、堆内仪表、中子源、流量限制器、燃料通道、可燃吸收体和反应堆压力容器材料的辐照样品。

### 5.8.1 堆芯部件

在5.1至5.3中所述的要求，凡是适用的都应遵守。对于堆芯部件，还要特别考虑：

- (1) 保证已辐照部件有充分的屏蔽；
- (2) 在需要检查已辐照部件的位置，应有联锁和其它合适的措施，以保证为操作人员提供辐射防护；
- (3) 必要时，应有把已辐照部件装入适当运输容器的措施；
- (4) 必要时，应有专门的贮存和处置设施，同时配备检查装置；
- (5) 装卸过程中应适当的注意保护贮存的燃料和限制可能发

生的污染扩散；

(6) 不应把已辐照堆芯部件贮存在新燃料的区域内。如果有必要贮存这些部件，应有在已辐照燃料的贮存设施内临时贮存这些部件的规定。

## 5.8.2 中子源

5.8.2.1 应提供充分的屏蔽和监测设备，防止人员受到中子源的电离辐射。在接纳装有中子源的运输容器时，应进行污染检查。中子源运输容器应根据国家核安全监管部门的要求有清晰的标识。

5.8.2.2 在中子源装卸过程中应监测  $\gamma$  和中子剂量率。

5.8.2.3 所有中子源应有清晰的标识，并且这些源的管理控制应到位。

## 5.8.3 可复用的反应堆零部件

5.8.3.1 在绝大多数类型的反应堆中，某些堆芯零部件和燃料组件的零部件可以重复使用（例如沸水堆的燃料盒、压水堆的流量限制器组件或改进型气冷堆的阻力塞）。这些零部件可能有很高的活度。如果把这些零部件带到组件组装区，应尽量减少污染的扩散和对人员的照射。

5.8.3.2 应能够对可复用的零部件进行必要的检查，以保证尺寸的稳定性和没有任何由操作或装卸造成的可能损坏。如果可复用部件含有可更换的零件（例如密封垫），则应能够对该可更换零件进行检查。

5.8.3.3 已辐照燃料装卸和贮存系统的设计应能够防止可复用

部件被某些材料沾污，这些材料在可复用部件重新插回之后可能影响反应堆部件完整性。

## **6 燃料容器装卸**

### **6.1 燃料容器装卸的设计**

**6.1.1** 反应堆厂区内的设备应满足所用燃料容器装卸的要求。

**6.1.2** 构筑物、系统和部件的设计以及编制的程序应能够防止燃料容器装卸活动对反应堆运行有关的活动产生影响。

**6.1.3** 构筑物、系统和部件的设计以及编制的程序应能够防止转运容器和运输包装受到污染或尽可能使之减至最小。在容器被运输或转运去贮存、进行泄漏试验、表面污染试验和其它必要的对燃料容器的试验之前，应有去污的装置。对去污产生的废液或对容器冷却系统（如有的话）冲洗下来的液体，应有排放到放射性废物系统的措施。

**6.1.4** 为了安全起见，厂内的运输路线越短越好。应避免运输路线经过贮存的燃料的上方。如果考虑燃料容器的跌落或倾斜作为假设始发事件，那么在设计中应考虑这些事件发生的可能性。应充分保护贮存的燃料、燃料水池衬里和冷却系统以及对反应堆安全重要的反应堆系统。

**6.1.5** 提升装置的设计应防止重物跌落。如果燃料容器提升装置单个部件的失效会导致不可接受的跌落载荷，应在限制提升高度的同时使用阻尼装置以减轻潜在的后果。应通过适当的吊车设计和对吊车及相关吊具的适宜的检查、试验和维修程序以及对操作员进

行充分的培训来减小燃料容器跌落事故的概率。

**6.1.6** 燃料容器装卸区的布置应在燃料容器周围提供足够的空间用于对燃料容器的检查、放射性监测和去污活动。还应为燃料容器和相关设备（如减振器）提供必要的存放空间。

## **6.2 燃料容器装卸设备**

**6.2.1** 燃料容器装卸设备应与起吊燃料和部件的设备相容，并应包括：

- (1) 燃料容器运输车；
- (2) 起吊燃料容器、容器盖或容器内部构件的起重机和有关提升装置；
- (3) 去污设备；
- (4) 辐射监测设备；
- (5) 燃料容器充排水和/或清洗系统；
- (6) 开启容器盖的工具；
- (7) 燃料容器测试设备；
- (8) 防止燃料容器外表面放射性沾污的装置和器具；
- (9) 照明装置。

**6.2.2** 用来运输容器的车辆或吊车的设计应限制容器跌落或非预期的倾斜的可能性。车辆和吊车应配置可靠制动装置以防止它们被意外移动。应配置双制动装置，每个制动装置都具有满载停车能力。吊车水平和垂直移动的速度都应限制以保证容器装卸安全。

**6.2.3** 必要时应提供能够监测来自容器的 $\gamma$ 射线和快中子、热

中子的辐射监测设备。应规定容器离厂前对容器的表面污染进行测量以保证满足运输规定。

6.2.4 如果燃料由于贮存运回水池中，应对容器和燃料提供冷却。

### 6.3 装卸操作

6.3.1 应保证容器装卸设备的设计遵守有关法规和导则给出的适用的要求和指导。设计应明确：

- (1) 所有预定的和预期的燃料装卸操作；
- (2) 适当的检查、试验和维修操作；
- (3) 与其它必要操作之间的相互作用关系；
- (4) 在必要时编制细则。

6.3.2 应特别注意通过行政管理手段保证冷却时间不够的燃料或未经许可的燃料组件组合装入容器中。还应注意验证所发运的物品符合有关规定。

## 7 多堆核动力厂的燃料装卸

7.1 多堆核动力厂内燃料装卸和贮存设施可以由每一个反应堆专用或由几个反应堆共用。无论专用还是共用，前面章节中的要求都应予以满足。

7.2 如果需要在设施间转送燃料或部件，为保证在任何时间都保持次临界度和排出热量，并保证对核动力厂人员和公众的放射性照射、污染减小到最小，转送时应把燃料或部件装入经过恰当设计的容器中或必要时使用其它措施。另外，在装卸与运输过程中以及

在各机组对部件发送、接收过程中应采取保护措施防止机械损伤。

7.3 当几个机组共用同一个贮存设施时，燃料贮存的容量不必随机组数量而线性增加。应考虑贮存所需要的时间和每个机组的换料频率等因素来确定要提供的容量。

7.4 有些核动力厂，多个反应堆共用同一换料机、设备或换料机部件；还有一些核动力厂，各反应堆使用各自专用的换料机，而通往公用贮存区的运输使用相同的布置。当同一设备用于多个反应堆时，应能够证明满足任一机组各自要求的能力没有被削弱，并且在任何单个机组中出现的故障不会影响其它机组的安全。

## **8 质量保证与文件**

### **8.1 质量保证**

8.1.1 应验证安全重要物项的设计和材料符合质量保证的要求。

8.1.2 所有设备的设计规格书、分析和竣工资料等应形成文件以满足质量保证有关规定的要求。这些文件应可供操作者使用。

### **8.2 燃料组件和其它堆芯部件的标识、位置和移动**

8.2.1 所有燃料装卸和贮存设备的设计应包括验证下列记录所必需的标识特征：

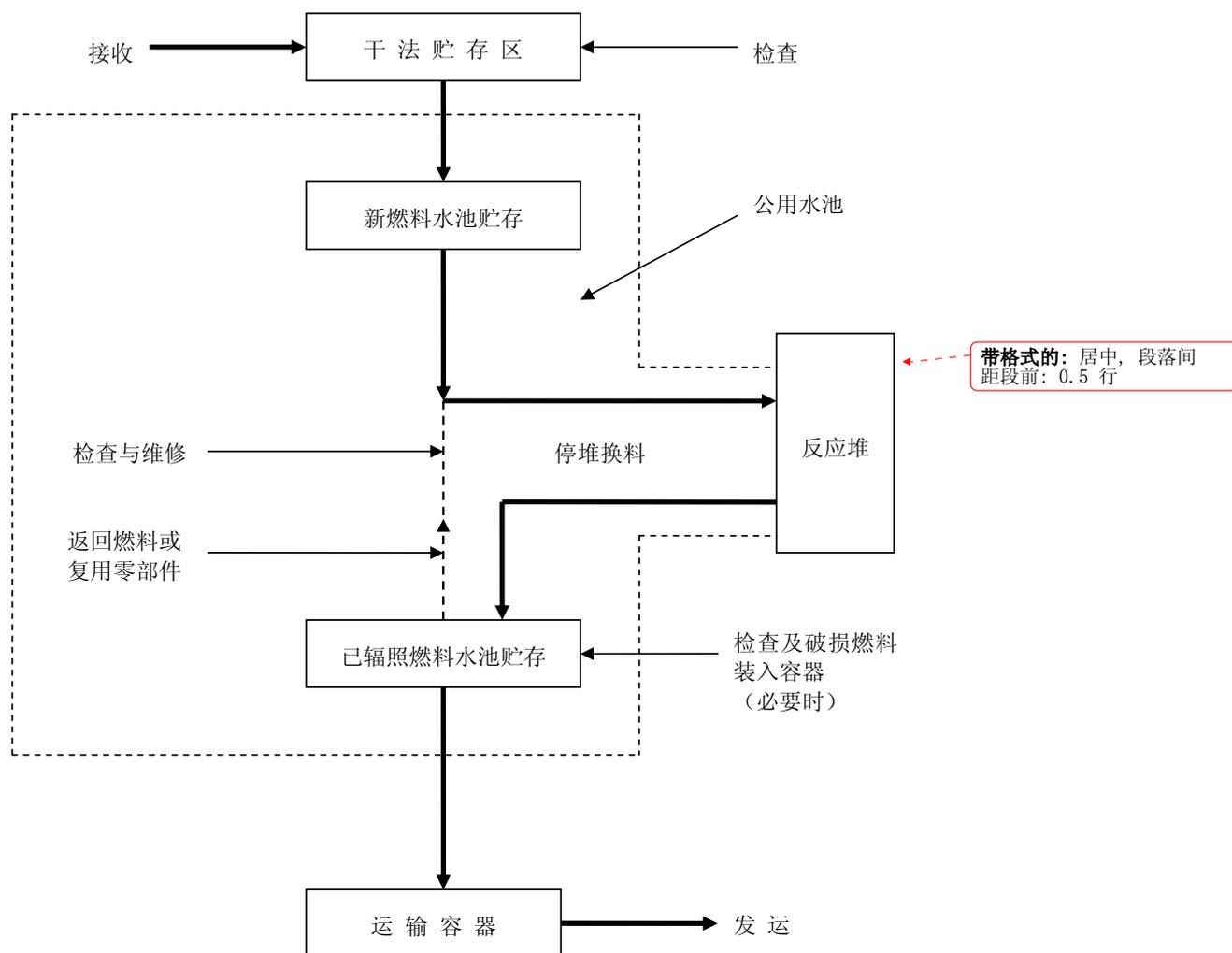
- (1) 燃料组件和其它堆芯部件的编号和标识；
- (2) 每组燃料组件或其它堆芯部件的位置。

8.2.2 标识特征应足够耐久，使它们在装卸和操作过程中保持有效。

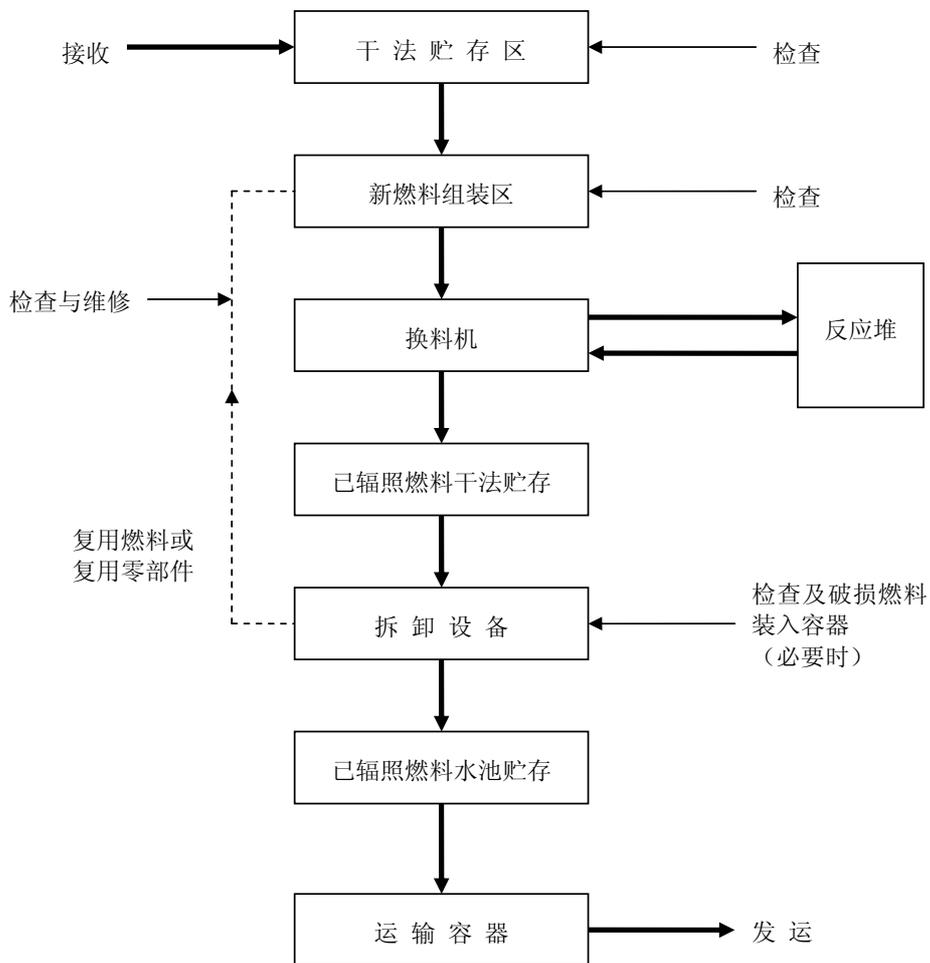
附件：

## 燃料装卸和贮存系统典型流程图

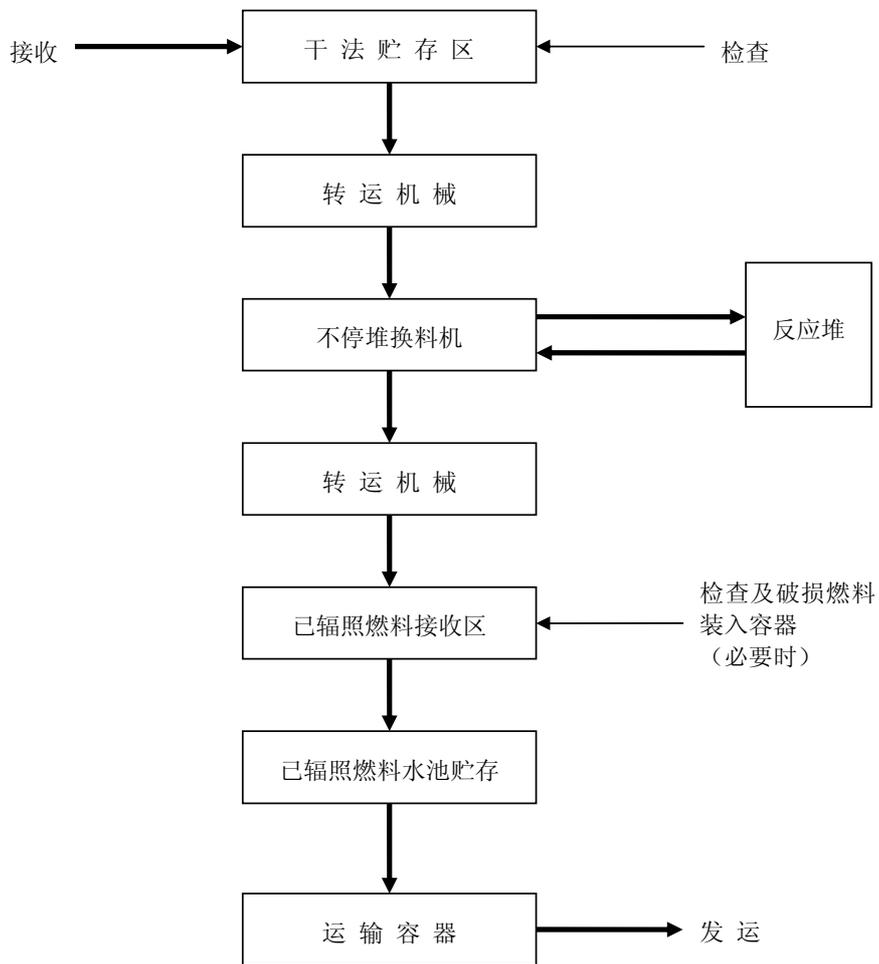
图A-1至A-4显示了四种类型反应堆的燃料装卸和贮存系统典型流程图。



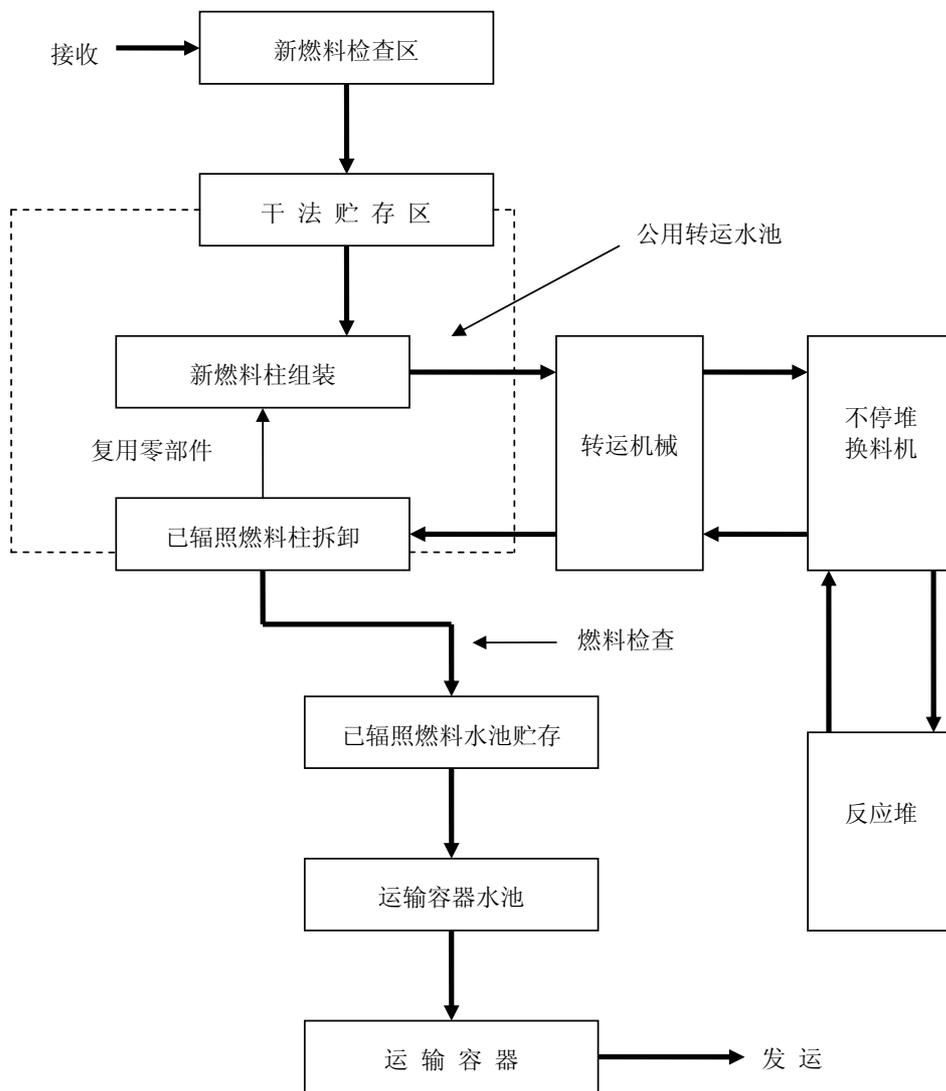
图A-1 轻水反应堆燃料装卸和贮存系统典型流程图



图A—2 气体冷却反应堆燃料装卸和贮存系统典型流程图



图A—3 压力管式反应堆燃料装卸和贮存系统典型流程图



图A-4 压力重水反应堆燃料装卸和贮存系统典型流程图