

核安全导则 HAD 301/05-2021

乏燃料后处理设施安全

国家核安全局 2021 年 4 月 22 日批准发布

国家核安全局

乏燃料后处理设施安全

(2021年4月22日国家核安全局批准发布)

本导则自2021年4月22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相同的安全水平。

目 录

| | | |
|------|-------------|----|
| 1 | 引言 | 1 |
| 1.1 | 目的 | 1 |
| 1.2 | 范围 | 1 |
| 2 | 通用安全要求 | 1 |
| 2.1 | 安全目标 | 1 |
| 2.2 | 纵深防御 | 1 |
| 2.3 | 质量保证 | 2 |
| 2.4 | 核安全文化 | 2 |
| 2.5 | 公众沟通 | 3 |
| 2.6 | 其他要求 | 3 |
| 3 | 厂址评价 | 3 |
| 3.1 | 评价目标 | 3 |
| 3.2 | 评价内容 | 4 |
| 4 | 设计 | 6 |
| 4.1 | 一般要求 | 6 |
| 4.2 | 主要安全功能的设计要求 | 8 |
| 4.3 | 典型始发事件 | 16 |
| 4.4 | 仪表和控制 | 24 |
| 4.5 | 人因工程 | 28 |
| 4.6 | 安全分析 | 30 |
| 4.7 | 放射性废物管理 | 32 |
| 4.8 | 流出物排放管理 | 33 |
| 4.9 | 环境监测与评价 | 33 |
| 4.10 | 实物保护 | 34 |
| 4.11 | 核材料衡算 | 34 |
| 4.12 | 厂内运输 | 34 |
| 4.13 | 应急准备与响应 | 35 |
| 5 | 建造 | 35 |
| 6 | 调试 | 36 |
| 6.1 | 总体要求 | 36 |
| 6.2 | 调试大纲 | 38 |
| 6.3 | 调试阶段 | 39 |
| 6.4 | 调试报告 | 41 |
| 7 | 运行 | 42 |
| 7.1 | 运行管理要求 | 42 |
| 7.2 | 设施运行 | 45 |
| 7.3 | 安全停车 | 56 |
| 8 | 退役准备 | 56 |

1 引言

1.1 目的

本安全导则旨在提供满足《乏燃料后处理设施安全要求(试行)》(国环规辐射〔2018〕2号)的具体建议和措施。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相同的安全水平。

1.2 范围

本导则适用于采用液-液萃取水法工艺处理动力堆乏燃料的工业规模后处理设施,包括乏燃料后处理主工艺设施、乏燃料接收与贮存设施以及配套的放射性废物处理和贮存设施等,采用其他水法工艺流程的后处理设施也可参照执行。

本安全导则包含后处理设施的具体安全建议,涵盖厂址选择、设计、建造、调试和运行在内的所有重要阶段。另外还考虑了变更、维修、校准、试验、检查和应急准备的具体建议。

2 通用安全要求

2.1 安全目标

乏燃料后处理设施的基本安全目标是保护工作人员、公众和环境免于电离辐射的有害影响。基本安全目标贯穿后处理设施全寿期。

乏燃料后处理设施主要风险是发生核临界、放射性包容失效、辐射照射和化学危险等,需在设施选址、设计、建造、调试和运行采取充分的技术和管理措施保护工作人员、公众和环境。

2.2 纵深防御

纵深防御可应用于设施内事故的预防和缓解,为核安全相关活动提供多层防护。在后处理设施的设计和运行中实施纵深防御可以为预计运行事件和事故状态提供多重保护,包括由设施内部设备故障或人因及外部事件引起的事件或

事故。

实施纵深防御的目的在于两点：第一，预防事故；第二，预防失效时控制可能发生的放射性和相关的化学危害性，防止向更加严重的事态转变。纵深防御通常分为 5 个层次，如其中某一层次失效，随后的层次将产生作用。

第一层次防御的目的是防止偏离正常运行及防止系统失效。

第二层次防御的目的是探测和纠正偏离正常运行状态。

第三层次防御的目的是将事故控制在设计基准范围内。

第四层次防御的目的是控制设计扩展工况，包括阻止事故的发展和缓解事故后果。

第五层次防御的目的是减轻放射性物质大量释放造成的放射性后果。

实施纵深防御所需的设计特征、措施和装置应主要通过设计和运行时的确定论分析（可由概率研究补充）确定。这种确定论分析应采用全面的工程研究实践和运行经验合理证明，即为在设计阶段进行的以满足监管要求为目的的安全分析。

实施纵深防御应采用分级方法。在确定防御所需的层次数量和程度（独立性、多样性、冗余性等）时应考虑放射性物质存在的数量和形式，扩散的可能性，发生核、化学或热反应的可能性以及此类事件的动力学。

每一层次纵深防御的应用程度应与设施的潜在危害相一致，并在设施的许可文件中进行说明。

2.3 质量保证

营运单位应在选址、设计、建造、调试和运行各阶段制定和有效地实施质量保证大纲及执行程序。质量保证大纲应包括为使物项或服务达到规定质量所必需的活动，验证是否满足规定的质量要求以及是否有效获得客观证据所必需的活动。应通过充分的设计、制造、贮存（如必要）、安装、调试、运行、维修和采用包括质量保证和质量控制的设施管理确保工艺设备的可靠性和工艺系统运行的安全性，并按明确、既定的执行标准和期望开展检查和测试。

2.4 核安全文化

营运单位及为其提供设备、工程和服务的单位应当积极培育和建设核安全文化，将核安全文化融入生产、经营、科研和管理的各个环节。

2.5 公众沟通

营运单位应建立健全公众沟通机制，配备必要的专业力量，统筹做好信息公开、科普宣传、了解舆情并回应社会关切等工作。

2.6 其他要求

应在安全分析中考虑后处理设施可能影响范围较大的危险情况和潜在事件，以确保有充分的预防、探测及缓解措施。

后处理设施的设计、建造和运行需要采用经过验证的工艺和工程技术。用于确保后处理设施安全的工程方案应是高质量的、经验证的或通过严格试验、研发或原型设施的运行经验证明的。

对于不易或不能更换的部件，应特别考虑安全级建（构）筑物、系统和部件的老化失效。在进行安全级建（构）筑物、系统和部件设计和选型时，应考虑可能引起结构材料老化的工艺过程。设施运行时应结合实际情况考虑制定并实施探测和监测老化失效的工作大纲，大纲应包括监测、检查、取样、监视和测试的措施，以及必要时针对不可接近的安全级建（构）筑物、系统和部件采取额外的设计措施。

应确保用于维持安全系统运行的公用系统及其部件的可靠性。安全系统应尽可能地设计成：即使同时失去正常动力和备用动力，也不会导致不可接受的后果。应评价风机、泵、阀门等设备失去动力的后果，并尽可能将相关物项设计成故障安全模式。

3 厂址评价

乏燃料后处理设施为一类核设施，应满足一类核设施厂址选择和评价要求。参考核动力厂选址相关的规范时，应结合后处理设施特点及对厂址的要求进行适用性分析和调整。

对于多设施厂址，设施的设计、建造和运行应考虑设施间的相互影响。

3.1 评价目标

后处理设施选址主要目标是尽量减少公众和环境受放射性释放引起的影响，要能保证在建设和运行期间对该地区居民的影响降到可接受水平。

厂址评价不仅应考虑核安全有关问题，也应考虑非放射性污染对环境的影响。

3.2 评价内容

厂址评价应确定自然因素和人为因素对所选定厂址的影响。自然因素包括：厂区地表断裂及其引起的严重位移（边坡不稳定、地面塌陷、沉降或隆起等）和地震（地震引起的海啸、湖涌、波浪等）；由于降雨和其他原因引起的洪水；潮汐、溃坝；基土液化和龙卷风等气象、水文、地质、地理等情况；人为因素如人口密度、小型飞行器撞击和化学品爆炸等。

对推荐厂址应进行工程地质、区域地质及地震评定。应确定厂址的设计基准地面运动，包括标准反应谱、与厂址相关的反应谱以及相应的地震运动时程曲线，作为抗震设计所需的地震输入项。还应确定地震引起的洪水以及地面下沉、隆起和塌陷等破坏现象的发生。应评价由地震引起的波浪、海啸、湖涌以及由地震引起的水坝溃坝。还应评价与地震有关的其他潜在危险现象，如：土壤液化，边坡不稳定等。

应调查评价当前以及可预见的将来的人口数据和分布情况，从放射性释放角度评价厂址对周围居民的影响。应优先考虑建在远离居民居住中心和人口密度低的区域，在运行工况或事故工况下，对居民的影响应符合国家法规的规定并遵循合理可行尽可能低的原则。

厂址如有能动断层、岩溶现象、边坡不稳定、基土液化、地面下沉等特征，则认为该厂址是不能接受的。

应根据确定的选址源项进行环境影响评价，使其不超过国家相关规定水平。厂址应具有良好的大气弥散条件，并位于居民居住中心点常年最小风频的上风向，沿海厂址还应具有良好的水体扩散条件。

应评价由降雨引起的泥石流、滑坡及径流洪水，由天然或人工水库泄洪引起的洪水及其他原因引起的洪水的可能。滨河或滨海后处理设施的设计基准水位应符合国家核安全法规的规定。

后处理设施选址应避开飞机航线。

后处理设施的选址应特别考虑下列因素：

(a) 厂址承在运行期间放射性物质向环境排放的承受能力，包括影响释放的放射性物质扩散和积累的物理因素，以及对工作人员、公众和环境的辐射风

险：

(b) 厂址满足工程和基础设施建设要求的能力，包括：

—设施寿期内的所有阶段废物处理和贮存

—公用系统的可靠保障

—乏燃料与其他放射性物质、化学物质的厂内与厂外运输的安全与安保的能力；

(c) 应急预案可行性的要求，应考虑与厂址有关的重要因素，包括地区内人口密度和分布、厂址离人口中心的距离、很难撤离或隐蔽的特殊居民组（如医院或监狱）、土地和水的使用特征、特殊的地理特征（如半岛、山脉和河流）、当地运输和通信网络的特征、潜在危害活动的工业设施、对可能排放的放射性核素敏感的农业活动、可能同时发生的外部事件及当地经济社会发展规划对厂址区域核应急工作的可能影响等；

(d) 外部危害，如：

—外部自然事件的影响，如洪水可能导致临界或必要的公用系统失效；地震可能影响乏燃料、高放液体和易裂变材料的包容结构等

—外部人为事件的影响，如小型飞行器撞击和化学品爆炸等；

(e) 核安保要求等。

在后处理设施整个寿期内应特别关注下列方面：

(a) 厂址特征的监测和系统评价；

(b) 对设计基准中的自然事件及人为事件的厂址参数进行定期评价；

(c) 所有厂址评价数据中可预见的变化（例如新建或规划的重要工业开发、基础设施或城市开发）；

(d) 在定期安全评价时，可能对安全有影响的场内和场外变化应写入安全评价报告，同时考虑所有当前场地评价数据，以及科学知识和评价方法的发展；

(e) 对厂址特征预期未来变化的考虑、对应急安排可能产生影响的措施的考虑和采取应急响应行动的能力。

4 设计

4.1 一般要求

4.1.1 主要安全功能

后处理设施主要安全功能如下：

- (a) 预防核临界；
- (b) 包容放射性物质；
- (c) 屏蔽辐射；
- (d) 导出衰变热；
- (e) 防止火灾和爆炸，包括辐解气体稀释等。

4.1.2 总体设计

后处理设施应考虑酸、水、萃取剂等试剂的复用，以减少废物排放。

正常运行时对公众和环境的保护依赖于保守的设施设计，尤其是流出物最小化、放射性废物预处理、事故预防等。

对公众和环境的保护主要依赖于事故预防。一旦发生事故，可通过合理的安全分级和保守的设计，采取纵深防御措施来缓解事故后果。同时，通过纵深防御第五层次的场内和场外应急准备，保护人的生命、健康、财产与环境。

应采用以下设计措施确保安全：

- (a) 在正常运行时，使用静态、动态包容和适当的分区方法避免人员受过量照射，根据辐射防护最优化的要求应尽量降低对个人防护设备的依赖；
- (b) 设计中应充分考虑所有热荷载与相关工艺过程，特别注意是否提供了足够的冷却功能，如有必要在事故工况下可考虑非能动的冷却；
- (c) 在辐解释氢较显著的场合设置消氢器，或运用纵深防御理念采用提供稀释气流措施，上述设计应尽量不采用风机或压缩机，且在事故情况下也能实现安全功能；
- (d) 为了保护工作人员，应综合考虑对放射源的限制、屏蔽、距离、时间的要求，在设计中应特别关注维修的防护要求；
- (e) 所有涉及易裂变材料的工艺过程都应结合实际情况考虑预防核临界的措施；
- (f) 退役设计应考虑后处理设施长期运行可能积累的大量放射性物质以及各种累积效应。

后处理设施在设计上应考虑对主要设备进行维修的措施。设计上应尽量考虑远距离维修并设置相应的专用维修设备，预留远距离维修设备的操作空间、保存设备的三维设计数据信息。

4.1.3 设计基准和安全分析

设施状态分为运行状态（包括正常运行和预计运行事件）和事故工况（包括设计基准事故和设计扩展工况）。应采用确定论、工程判断辅以风险分析进行设施的安全分析，识别始发事件，给出每类始发事件发生的原因、后果及预防措施。在安全分析的基础上，确定安全级物项的设计基准。

在后处理设施设计基准事故始发事件分析中，应针对下列危害予以特别考虑：

- (a) 丧失冷却；
- (b) 丧失电力；
- (c) 核临界事故；
- (d) 内部和外部火灾；
- (e) 放热化学反应；
- (f) 内部和外部爆炸；
- (g) 内部和外部水淹；
- (h) 跌落和有关操作事件；
- (i) 自然灾害；
- (j) 小型飞行器撞击。

应逐一评估每个工艺过程的运行状态和事故工况。假如事件可能同时对同一厂址的几个设施构成威胁，除了评估对每个设施的影响外，还应开展厂址层面的评估。

4.1.4 建（构）筑物、系统和部件

应尽量降低设计基准事故发生的可能性，通过建（构）筑物、系统和部件分级来控制相关辐射后果。

后处理设施安全等级的确定主要依据物项承担的安全功能及其重要程度，并以确定论为主，辅以风险分析和工程判断，将物项划分为安全级和非安全级。划分物项安全等级时，应综合考虑物项所执行的安全功能，物项包容放射性物质的种类、数量、毒性、状态以及物项的可更换性（可修复性），物项失效后的后果及可能性，物项需要投入运行的时效性及持续时间等因素。

应首先确定系统的安全等级，系统内履行或支持系统安全功能的设备（或部件）应与系统同属一个安全级别，未特别指明的设备（或部件）亦认为与系统安全等级保持一致。在不同安全级别的建（构）筑物、系统和部件之间应提供合适的接口设计，以保证较低安全等级物项功能失效不影响较高等级的安全功能。同时，用于监测和检查安全系统、设备（或部件）执行相关安全功能的物项，以及事故后监测的物项或对安全系统、部件性能恢复起重要作用的物项，均应与被监测、检查的物项同属一个安全等级。

针对每种安全级别的建（构）筑物、系统和部件的设计，应相应确定与结构和力学有关的设计基准，包括各种工况下的荷载组合。荷载组合应包括以下几种荷载：静荷载、动荷载、应力荷载、热荷载（包括火灾）、风荷载和地震、龙卷风、飞射物及爆炸状态下的异常荷载等。应将安全级建（构）筑物设计成在运行状态和设计基准事故工况下有能力执行其安全功能。

与核安全功能有关的一切活动应规定相应的质量保证要求，安全级物项的质量保证应贯穿在对物项质量有影响的各项工作的全过程，包括：设计、采购、加工、制造、装卸、运输、贮存、清洁、装配、安装、检查、试验、调试运行、维护检修和改进等。原则上安全等级高则质量保证等级高，并应综合考虑制造工艺的复杂程度、设计制造经验、工艺成熟性、供货史、标准化生产等因素。

除了在安全分析中确定的安全级建（构）筑物、系统和部件外，正常运行中使用的其他仪表和控制系统也与后处理设施总体安全相关。这些系统包括显示与记录仪表、控制部件和报警与通讯系统，它们虽然用于限制工艺波动和事件，但未被确定为安全级物项。这些建（构）筑物、系统和部件应是高质量的，应提供充分且可靠的控制和适当的仪表，将参数保持在规定范围内，并在必要时启动自动安全功能。在这些系统使用计算机或可编程设备的地方，应证明硬件和软件按照建立的管理体系经过适当的设计、制造、安装和测试。对于软件，应包括确认和验证。后处理设施应设置报警系统，在紧急事件（例如临界、火灾和超过设计值的高辐射水平）中启动部分或全部撤离。

4.2 主要安全功能的设计要求

4.2.1 预防核临界

4.2.1.1 一般要求

后处理设施应尽可能的通过工程措施进行临界安全控制。当不能消除可信

的临界风险时，设计中优先采用双偶然原则的方法预防临界。工艺设计应根据临界安全限值，留有足够的安全裕量。应为任何影响临界安全的工艺条件提供可靠的探测手段和及时的纠正措施，临界安全相关的安全级仪表应满足单一故障准则。

应对易裂变材料状态或临界控制方法改变的系统界面进行专门评价。应关注所有运行状态和事故工况下发生或可能发生的渐变状态、中间状态或瞬时状态。

设计上应避免可能导致沉淀或水解的试剂意外进入到含较多易裂变物质的设备中，以预防料液中易裂变物质发生沉淀或水解，避免临界风险。

后处理设施设计中应综合考虑质量、浓度、慢化、几何、核素组成、富集度、密度、反射、相互作用和中子吸收等临界安全控制参数。应优先采用几何控制作为主要临界控制方法。设计上应考虑为可能的泄漏提供临界安全的接收容器，以确保泄漏的液体排入或通过倒空路径进入临界安全容器。在临界安全控制采用中子毒物控制时，设计上应提供足够的裕量，并充分考虑寿期内中子毒物可能因老化、降解等因素导致的损失。必要时可提供对毒物性能进行监测评价的手段，防止中子毒物有效性降低或丧失。

若采用燃耗信任制进行临界安全分析，应严格控制燃料富集度及其对应的最小燃耗限值要求。

设计上应考虑易裂变材料的窜料、积累、溢流和载带的可能性。应着重考虑料液泄漏在热容器或热管道上可能发生的蒸发、结晶，并考虑是否需要采取以下措施：

(a) 设置接液盘（或地坑）回收泄漏液体，使泄漏液远离热容器，并将其导入几何良好的收集容器；

(b) 在接液盘（或地坑）中设置液位测量装置或液体探测器；

(c) 定期检查、不间断闭路电视摄像监视和充足的照明。

需充分考虑采取附加的设计措施来探测含易裂变固体（浆液）的料液或固体（粉末）传送系统的泄漏或发生的异常，并采取适当的临界控制措施。

结合临界安全分析情况，应在必要的地方设置探测易裂变物质积累和存量的仪表，这些仪表也可用于退役期间核实设备中的易裂变物质存量。

4.2.1.2 核临界安全评价

核临界安全评价的目的是论证后处理设施中设备的设计与运行条件，以控

制参数保持在次临界范围内。凡含有易裂变物质的系统和设备都应当进行临界安全评价。

核临界安全评价时应紧密结合设施的工艺流程，判别各工艺过程中易裂变材料物理、化学性质及其他异常事件可能造成的临界安全条件变化，并应对易裂变物质状态和临界控制方法存在变化的系统接口进行重点评价。

核临界安全评价应包括分析评价所有运行状态和设计基准事故下的次临界状态。临界安全分析要识别外部和内部危害，并确定放射性后果。

临界安全分析应采用保守方法并考虑以下方面：

(a) 物理参数的不确定性，最佳慢化条件的可能性及慢化剂和易裂变物质的非均相分布；

(b) 预计运行事件，如果不能表明事件是独立的，就要考虑事件的组合；

(c) 可能由内部和外部危害引发的设施状态变化。

临界安全分析的计算机程序应是合格的、经验证和经确认的。所有程序应在其适用范围内被恰当的使用，并选用合适的核反应截面数据库。

可以通过指定质量、体积、浓度或几何尺寸等物理参数的临界安全限值，作为临界安全分析的一部分。安全限值需要考虑其他参数的保守值（或最坏情况值），例如最佳慢化或中子毒物的实际最小值。评价应论证在所有正常、异常和设计基准事故工况下各参数总是处于的安全限值之内。

4.2.1.3 缓解措施

应根据国家标准，考虑工艺、布置并通过临界安全分析，在可能发生临界事故的场所，设置足够灵敏和可靠的临界事故探测与报警系统。

应根据纵深防御要求对用于缓解临界事故后果的额外的屏蔽、远距离操作及其他设计措施等进行评价。

4.2.2 包容放射性物质

4.2.2.1 静态和动态包容

后处理设施应充分考虑 α 密封特点，按照独立性、互补性、冗余性原则，设置适当的密封系统，提供可靠的密封和足够的包容，将放射性物质限制在规定部位或场所，使运行状态和事故工况下规定部位或场所之外遭受放射性物质污染的可能性减至最小，并保证任何放射性物质释放所造成的污染在运行状态下低于规定限值，事故工况下低于可接受限值。

后处理设施应设置三道静态屏障，根据安全分析结果也可能需要增加设置。

第一道静态屏障通常由工艺设备、容器、管道、手套箱或工作箱等组成。第二道静态屏障通常由工艺设备周围的热室（设备室）或手套箱周围的房间（当手套箱是第一道屏障时）组成。最后一道静态屏障是建筑物本身。静态密封系统的设计应考虑各包容区域之间的接口（例如门洞，机械设备、仪表和管道贯穿件），设计应保证在所有运行状态下的放射性包容，尤其是维修状态（例如通过提供固定的或临时的额外屏障），并应尽可能在事故工况下保持包容。

每一静态屏障应由一个或多个动态包容系统加以补充。动态包容系统应在建筑物外环境和建筑物内污染物之间、穿过建筑物内所有包容系统之间建立压力梯度。动态包容系统设计应防止污染物通过各包容区域之间的接口向低污染的区域移动或扩散。动态包容系统的设计应尽量关注：

- (a) 运行状态和事故工况；
- (b) 可能造成局部变化的维修（例如打开检修门，移除检修盖板）；
- (c) 在使用多个通风系统的地方，设置保护措施防止在发生低压（高污染）系统故障引起反向压差和气流；
- (d) 应确保所有静态屏障，包括过滤器或其他气流控制设备，能够承受系统产生的最大压差和气流。

后处理设施的设计应能及时探测并收集工艺设备、容器和管道的液体泄漏，并将泄漏液体返回到第一道屏障（设备或管道内）。这对于设计和运行都是特别重要的，尤其是在第一道静态屏障还执行其他安全功能时，例如几何良好以避免临界、针对易燃液体进行空气隔离等。应格外注意易裂变物质含量高的液流溢出或泄漏，并考虑诸如冷却或泄漏液体蒸发引起结晶的影响。设计中应考虑物料间的化学相容性，防止产生结晶或沉淀。

换热器加热冷却介质压力要大于被加热的放射性介质，防止泄漏导致的放射性物质窜入非放射性系统；冷却系统一般设置两个回路，并对一回路冷却水进行在线剂量监测，防止放射性物质不受限制的排放到环境中去

应特别考虑后处理设施中操作具有放射性、易裂变及其他危害特性的固体（粉末）的部分。由于粉末的泄漏探测和泄漏积累的探测以及将它们返回密封区域或工艺系统中均难度很大，应注意确保此类设备设计是在经验证的基础上，并经过严格的检查。

通风系统应至少包括建筑物（热室、设备室和房间）通风系统和工艺尾气系统（例如溶解尾气、设备贮槽呼排尾气等）。

建筑物通风系统（包括子系统、过滤装置和其他排放控制设备等）的评估和设计应考虑：

- (a) 静态屏障（热室、手套箱和建筑物）的类型和设计；
- (b) 根据所包含的危害进行区域划分；
- (c) 潜在气溶胶的特性（即气溶胶的预计或实际正常水平）；
- (d) 表面污染水平和污染水平升高的风险；
- (e) 维修要求。

在设施内工艺尾气系统的压力最低，用于收集并处理工艺产生的大部分放射性蒸汽、放射性气体和气溶胶。应注意设置有效的洗涤、倒空和收集系统以减少污染和放射性物质的积累，并便于退役。

通风系统的各级过滤应依照相关标准进行设计，并进行过滤性能的测试试验。

对于涉及粉末操作的工艺环节，初级过滤器应尽可能的靠近污染源，以减少粉末在通风管内可能的积累。应特别注意易裂变物质以粉末的形式在非几何良好的通风管处的积累。

应根据安全评价结果判断是否需要备用风机，风机应安装压差或故障报警系统。

除非火灾发生概率很小或火灾危害后果可接受，否则应设置防火阀以防止火灾经通风管蔓延，并保持防火分区的完整性。

4.2.2.2 工作人员防护

设计应保证密封屏障的完整性和有效性并便于维修。设计应关注焊接、材料选择、密封性（包括电气和机械贯穿件密封）和承受地震载荷的能力等方面的技术要求。

对于需要定期维修或操作的物项，应根据所处理物料的辐射类型和水平，将其布置在临近工艺热室、设备室的屏蔽箱室或手套箱中，以减少就地放射性物质存量并允许有特殊的清洗和去污操作。

在处理易扩散放射性物料且主要风险是包容失效导致污染或人员摄入导致内照射的地方，设计应首选手套箱方案。应能测试手套箱箱体和窗体密封性能，并且手套应能在不破坏密封的条件下进行更换。手套箱内应保持负压，并根据污染物危害性水平确定箱室的负压等级。

通过静态和动态包容系统的设计、安装可靠的放射性气溶胶探测设备，以

尽量减少正常工况下工作人员防护装备的使用。

在设计阶段应考虑气溶胶监测设备的安装。系统的设计和监测点位置的选择应考虑下列因素：

- (a) 工作人员最可能所处位置；
- (b) 设施内空气气流；
- (c) 疏散区域和疏散路线；
- (d) 检修时临时控制区域等。

为避免污染通过工作人员扩散，工作人员污染监测设备的控制点应选择气闸出口，以及与可能被污染区域之间的屏障处。在实际可行范围内，它们应位于靠近有污染危险的工作区。

工具和设备应尽可能地不通过气闸或屏障进行转移。当必须转移时，需对工具和设备进行检测。设计中应考虑为轻污染工具和设备设置专门的存放位置；较高污染的物项应去污后再重复使用，或直接送至废物出口。

4.2.2.3 保护公众和环境

用于减少气溶胶的通风系统设备，应根据安全分级的结果确定其在正常运行和事故工况下的工作状态。

后处理设施应对烟囱排放进行连续监测，以及对设施周围环境进行监测。为了尽可能实现泄漏的早期探测，应将工艺产生的废液向废液处理设施的转运设计成批式转运。应设置对设备密封屏障损坏的监测手段（例如设备室气溶胶探测、设备室地坑探测、收集容器液位探测和取样等）。

流出物排放监测系统包括在线监测和取样监测，应满足正常运行流出物排放控制和事故释放源项监测需求。流出物排放监测系统应满足取样代表性要求，应尽可能降低探测限，应能监测气态和液态流出物中主要放射性核素。应根据受纳水体的特性，选择适当的液态流出物排放方式。

4.2.3 屏蔽辐射

屏蔽辐射的目的是通过单独或组合使用下列措施保持剂量低于国家相关法规标准中规定的限值：

- (a) 通过工艺控制和管理，以及去污或清洗尽可能限制运行与维修期间辐射源项；
- (b) 采用适当屏蔽措施屏蔽辐射源；
- (c) 通过合理设计工作位置或采用远程控制操作等增加辐射源与工作人员

之间的距离；

(d) 限制人员受照时间和受照人数；

(e) 对进入有外照射风险的区域进行控制；

(f) 采用个人辐射防护设备，如躯干屏蔽与器官屏蔽。设计上应将在正常运行条件下需要个人防护设备的情况降至最低。

在设计中针对安全防护的优化，应考虑对维修人员维修操作的限制。应尽量避免将限制操作时间作为主要的剂量管理方法。

在外照射高的地方，屏蔽设计应考虑辐射源强度、辐射类型和位置。在其他地方应综合利用辐射源强度、辐射类型和位置、受照时间、屏蔽的组合来保护工作人员，以减少全身剂量，及局部的器官和组织剂量。屏蔽应设置在适当的区域位置。

安装在高放热室（设备室）内的设备设计，应考虑其维修需求，包括检验、检查和测试活动等，尤其应关注全寿期内的辐射水平和污染水平。

(a) 对于高放射性单元的机械和电气部件，其设备的设计和布局应允许实现远程维修，例如利用“主-从”机械手。

(b) 应根据工艺需求、液体放射性和液体物理特性等选择输送设备，设计上应首选免维修输送设备，例如空气提升、压空喷射器、蒸汽喷射泵等。如果采用机械设备，如泵和阀，应设计成可远程维修或更换。

设计和安全评价计算时所使用的放射性物质存量应考虑放射性物料及其衰变子体在设备和管道内的沉积，例如管道（含高放物料的部分）和手套箱内放射性材料颗粒和结垢等。

后处理设施的工艺控制依赖于样品分析数据。为了尽量减少职业照射，对于取样装置、通往实验室的样品传输网络和实验室分析，应优先考虑采用自动和远程操作。

依据相关法规和安全评价，辐射防护监测系统应主要包括以下内容：

(a) 工作场所固定式光子和中子辐射监测设备和仪表，以及工作场所固定式气溶胶监测设备和仪表；

(b) 工作场所移动式光子和中子辐射监测设备和仪表，以及移动式气溶胶监测设备和仪表以及空气采样器；

(c) 与辐射类型相匹配的工作人员个人剂量计。

4.2.4 冷却与导出衰变热

放射性衰变释热、化学反应放热及物理放热、冷却、蒸发工艺等可能会导致以下工况：

- (a) 溶液沸腾；
- (b) 辐射或临界安全有关的状态变化（例如熔融、浓缩、结晶、含水率变化等）；
- (c) 转向自催化的化学反应（例如形成可能爆炸的红油），或其他可能加速的化学反应和火灾；
- (d) 破坏包容屏障部件；
- (e) 辐射防护屏蔽性能下降；
- (f) 中子吸收材料或中子解耦装置的性能下降。

冷却系统的设计应防止失控的放射性物质向环境释放，防止对工作人员和公众的辐射照射，并防止核临界事故，尤其是高放废液贮槽和二氧化铀容器。

应通过安全分析确定用来导出衰变热和化学反应热的冷却系统的冷却能力，并评估冷却系统的有效性和可靠性，以及相应的应急供电。应设置有效的冷却系统，以导出衰变热、反应放热等，并配备相应的动力供应。应评估冷却系统冷却能力、有效性和可靠性。设计上应尽可能采用非能动系统进行冷却。

4.2.5 防止辐解气体及其他爆炸物或易燃物质达到危险浓度水平

水（包括冷却水）或有机物的辐解会导致降解产物的产生和积累，降解产物可能易燃、易爆（例如 H_2 、 CH_4 、过氧化物、有机硝酸盐或亚硝酸盐（红油），）或有腐蚀性（例如 Cl_2 、 H_2O_2 ），可能会破坏密封屏障。应尽可能的提供稀释系统（空气或惰性气体）以防止容器中爆炸性的气体混合物积累。对于产品容器和其他系统，设计应考虑产生腐蚀和气体增压的（例如二氧化铀粉末或含铀废物辐解水分导致的增压）可能和后果。

设计应确保监测工艺参数，提供报警系统，并将存量减到最少，以防止化学爆炸，例如蒸发器运行过程中可能产生的红油、萃取循环中可能产生的叠氮酸盐等。

自燃金属（来自剪切乏燃料或去除包壳时产生的锆屑）可能导致火灾或爆炸。设计上应避免意外积累并提供必要的惰性环境。

为确保泄漏收集系统和溢流收集系统中不出现危险的或不相容的混合物，设计时应评估所有可能因素，如：

- (a) 设计防冒槽监测或溢流系统以防止不可控的泄漏；
- (b) 收集泄漏用的接液盘（或地坑）及其排出路径；
- (c) 收集容器；
- (d) 漏液返回路径；
- (e) 途经热室（设备室）的系统泄漏进入热室（设备室）地坑的可能；
- (f) 试剂溢流或泄漏进入工作区的可能。

4.3 典型始发事件

4.3.1 内部始发事件

4.3.1.1 火灾

后处理设施中的火灾危害与以下物项有关：

- (a) 易燃物质，例如自燃材料、溶剂、化学反应活性物质和电缆；
- (b) 潜在易燃物质，例如用于中子屏蔽的聚合物、工艺运行废物、办公废物等。

火灾可能会破坏密封屏障，从而导致放射性物质或毒性物质的扩散；也可能破坏中子毒物、或因灭火介质的加入改变慢化或反射条件、或改变工艺设备几何尺寸而导致临界事故等。

4.3.1.1.1 火灾危害性分析

火灾危害性分析包括系统地鉴别火灾的起因，评估火灾的潜在后果，以及特定区域火灾发生概率等。火灾危害性分析应包括潜在的直接或间接涉及核材料的外部 and 内部火灾。火灾危害性分析用于评估易燃材料的存量和可能的火源，并对火灾预防、探测、缓解和灭火措施进行系统分析。对于复杂且高危害的情况，必要时应使用计算机建模辅助进行火灾危害性分析。应采取适当的预防措施防止火灾发生和蔓延，例如合理划分防火分区。

火灾危害性分析也应包括对火灾预防、探测、缓解和灭火措施进行系统分析。

后处理设施火灾危害性分析的一个重要内容，是鉴别出设施内需要特别考虑的区域。进行火灾危害性分析的区域应包括：

- (a) 加工或存放易裂变物质的区域；
- (b) 加工或存放放射性物质的区域；
- (c) 手套箱，特别是加工钚材料的手套箱；

- (d) 使用或贮存易燃或可燃化学品的工作间和实验室；
- (e) 加工易自燃的金属粉末的区域，如剪切系统含铝粉的区域；
- (f) 高火灾荷载的区域，例如有机废物贮存区；
- (g) 安全级物项所在的房间，其性能下降可能会造成放射后果，例如通风系统最后一级过滤器的房间和安全级变配电室等；
- (h) 工艺控制室或辅助系统控制室；
- (i) 撤离路线。

4.3.1.1.2 火灾预防、探测与缓解

应通过一整套措施降低火灾风险，尽量确保不发生火灾；如果发生，应能探测、限制并抑制火灾蔓延；采取了预防措施但仍发生火灾时，缓解措施应起作用，将火灾的后果降到最小。

为了达到预防火灾和缓解火灾后果的双重目标，应采取一些有效措施，主要包括：

- (a) 尽量减少单个区域的可燃物荷载，包括助燃的化学品，如氧化剂；
- (b) 非放射性危险物质的贮存区与使用区域隔离；
- (c) 设计安装火灾探测系统，以早期探测并准确确定着火位置，迅速发出火灾警报，必要时应设置自动灭火装置；
- (d) 依据功能要求和耐火等级选择相关材料，包括建筑材料、工艺材料和手套箱部件以及贯穿件材料；
- (e) 尽可能的将建筑物和通风管道分区，以防止火灾蔓延；
- (f) 使用可燃液体或气体避免超可燃性限值；
- (g) 抑制或限制潜在火源，如明火、电火花等，并与可燃材料隔离；
- (h) 隔离热源或加热的表面；
- (i) 灭火介质应符合相关安全分析的要求，尤其是应符合核临界安全控制要求。例如，应避免灭火剂（主要是消防水）导致临界事故。

房间、热室（设备室）和手套箱通风系统的设计和控制应实现预防和缓解火灾的多重目标。在尽可能长时间保持动态密封系统、保护最后一级过滤的同时，还要限制火灾蔓延。排烟系统（如有）设计应考虑放射性包容。

通风系统的设计应特别考虑防火要求，包括：

- (a) 应限制可燃粉尘和其他材料的积累；
- (b) 通风管道应具有气密性、耐热、耐腐蚀；

(c) 动态密封的通风管道和过滤器应经适当的设计，确保它们不成为消防系统的薄弱环节；

(d) 在火灾蔓延的可能性较高时，应在通风系统中安装防火阀，并且应仔细考虑分析其对通风的影响；

(e) 应分析过滤器介质的阻燃性，如有必要应使用火花抑制器来保护过滤器；

(f) 应评价在火灾中过滤器和风机的安装位置是否会对其运行性能造成影响；

(g) 在发生重大火灾时为了有助于控制火灾，应仔细分析减少或切断通风气流的必要性。

贯穿防火分区和防火墙边界的管线设计上应确保火灾不会蔓延。

根据相关法规和安全评价，在设计中应考虑针对火灾和临界事故的撤离路线。在消防安全或核临界安全影响不严重的地方，应尽可能沿同样的路线撤离，以减少撤离路线的数量。

4.3.1.2 爆炸

为了防止爆炸引起放射性物质释放，应在设计阶段考虑以下措施：

(a) 正常和异常情况下，保持不相容的化学物质的分隔；

(b) 通过参数（例如浓度、温度、压力）控制，以预防出现导致爆炸的情况；

(c) 使用泄爆装置来降低非放射性物质爆炸的影响；

(d) 限制爆炸性物质的质量或浓度；

(e) 通过通风系统的设计，避免形成爆炸性气氛，或保持爆炸性气体浓度低于爆炸下限；

(f) 通过设备或结构设计，以确保可承受爆炸影响；

(g) 尽量采用火灾或爆炸风险低的工艺。

化学品应贮存在工艺或实验区域以外的通风良好的区域。

4.3.1.3 吊运事件

吊运操作中，机械、电气故障或人的失误会导致核临界控制、包容、屏蔽或其他安全级系统及有关控制的性能降低，或纵深防御水平的降低。设计上应采取以下措施：

(a) 尽可能减少提升重物的需求，尤其在设施内应尽量使用轨道运输或其

他稳定的运输方法；

(b) 尽可能降低跌落和碰撞的后果，例如尽量降低提升高度，开展容器极限跌落验证，开展地面可承受跌落重物冲击的评价，安装减震装置及规定安全行进路线等；

(c) 通过适当的设计，尽量降低机械操作系统的故障频率，如采用带有多种故障安全功能（例如刹车、钢丝绳，断电时动作和联锁）的控制系统。

上述措施应辅以工效学设计、人因分析和合适的管理控制措施来实现。

4.3.1.4 其他设备故障

应考虑设备故障可能导致包容、屏蔽、核临界控制性能降低或纵深防御水平降低的应对措施。设计应评估所有安全级建（构）筑物、系统和部件的故障状态，并且应根据分级结果在安全物项设计或采购时给予重点考虑。在无法确定故障状态时，应考虑确保安全级建（构）筑物、系统和部件的安全功能得以维持。必要时，可通过冗余、隔离、多样性和独立性设计实现。

根据相关法规和标准，在对设备故障进行评价时，应特别关注计算机系统、计算机控制和软件系统的故障。

4.3.1.5 公用系统丧失

在设计上应对丧失公用系统的影响及对其的相关要求进行系统分析。

设计应能应对潜在的短期和长期公用系统（如电力供应）丧失带来安全后果。设计上应考虑单一设备物项和整个设施的辅助系统丧失，在多个设施的厂址，还应考虑后处理设施附属和辅助设施（例如废物处理和贮存设施以及其他场内设施）的辅助系统丧失。

电力供应系统应高度可靠。在失去正常供电的情况下，根据设施状态和安全分析的要求，应能向相关安全级物项提供可靠的应急供电，包括：

- (a) 热量导出系统；
- (b) 辐解释氢的稀释系统；
- (c) 某些动态密封系统的排风风机；
- (d) 火灾探测系统；
- (e) 辐射防护监测系统；
- (f) 临界报警系统；
- (g) 与上述物项相关的仪控系统；
- (h) 应急照明。

应考虑在发生重大外部事件情况下，较长时间内提供应急动力的需求。设计应确定在长时间公用系统失效情况下，需保持可用状态的安全级建（构）筑物、系统和部件。

设计应明确后处理设施恢复供电的时顺表，主要考虑以下因素：

(a) 物项“当前电力状态”，如启闭、使用应急动力运行、失去备用动力的时间等；

(b) 恢复正常运行物项的安全重要性或优先权；

(c) 运行状态切换过程中的电力供应中断；

(d) 后处理设施内物项的初始电力需求，供应能力和容量。

同时，设计应制定电力恢复的应急程序。

对丧失电力供应或其他辅助服务的评估应作为后处理设施整体安全评估的一部分。一般性辅助供应的丧失也可能有安全后果，例如仪表和控制用压缩空气、工艺设备用冷却水、通风系统和惰性空气供应等。设计中，应采取措施以确保它们的供应或提供其他确保安全的手段，包括：

(a) 根据安全评估，辅助系统，如储气罐、不间断电源或冷却系统等，应设计有足够的可靠性，尽可能的多样性和冗余性；

(b) 对所有的辅助系统，应在设计中评估其丧失后安全上可接受的最长持续时间；

(c) 根据安全分析，针对丧失供气，气动阀应设计成故障安全的；

(d) 冷却水丧失可能导致某些部件的故障，例如蒸发器的冷凝器、柴油发电机和通风系统中的冷凝器或除湿器等。设计中应提供充足的备用容量或独立冗余的供应。

4.3.1.6 管道或容器泄漏

后处理设施所采用的设备材料，应尽可能选择耐腐蚀材料。所有密封屏障的设计应足以承受所有性能恶化情况的综合影响，尤其应注意总体与局部效应，如腐蚀、侵蚀、机械磨损、温度、热循环、震动、辐射和辐解。

在安装有冷却回路的地方，特别是在放射性较高的系统中，设计应考虑包括冷却水侧的腐蚀、水化学、辐解（例如过氧化产物）以及冷却剂停滞（无冷却要求或存在冗余冷却系统的情况）等效应。

为满足包容要求，应收集并回收第一道密封屏障的所有泄漏，例如采取接液盘或热室钢覆面与集水坑等措施。当储存大量高放废液时，应通过安全分析

来确定备用贮槽的数量。

核临界安全评估应考虑腐蚀对含有易裂变物质的设备尺寸的潜在影响，例如当核临界控制方式是几何控制时，工艺容器壁厚变化造成的影响。应考虑固定中子毒物支撑结构的腐蚀，在中子毒物与工艺介质接触的地方，应考虑中子毒物的自身腐蚀。根据安全和技术要求，应优化工艺参数使腐蚀速率可接受，同时需综合考虑减少废物量、提高工艺性能和效率等因素。

4.3.1.7 内部水淹

后处理设施中工艺液体（例如水、硝酸）及给排水造成的水淹可能导致放射性物质的扩散，慢化或反射条件的改变，电驱动装置故障、报警和跳闸的故障或误动作以及通风风机的减速或停止等。设计应关注上述问题，尤其是大量泄漏对公用系统、安全级建（构）筑物、系统和部件的仪控系统的潜在影响。电力、仪控系统电缆应与液体或气体供应尽可能的严格隔离。应保护所有供电、仪控的地面贯穿和墙壁贯穿，防止液体渗入。应将仪控系统的供电和线路布置高于可能的最高液位。由于可能会释放大量的蒸汽或液体，应特别注意蒸汽和冷却水管道的线路布置。

当充满液体的容器或管道穿过含易裂变物质的房间时，临界分析应考虑此房间内液体的最大可信量，并考虑可能从所有连接的房间、容器或管网中流出液体的最大可信量。

可能发生水淹的房间的墙壁（和地面）的设计应能承受液体荷载，并且所有安全级设备都不会受到水淹的影响。应考虑到大量泄漏的动态效应。

在设计中应考虑在水淹情况下容器、管道和密封结构的潜在液压及浮力。

4.3.1.8 危险化学品的使用

后处理设施应依据化工标准和国家法规要求，对工作人员的化学危害以及危险化学物质向环境释放进行保守的评估。应通过设计在其固有安全的物理条件下选择或使用危险化学品。

基于安全评价，设计应考虑后处理设施中可能导致不安全情况的设备故障或损坏所引起的危险化学物质释放的影响。应考虑危险化学物质的直接作用（可能导致腐蚀、溶解和损坏）及间接作用（导致控制室的撤离或对工作人员有毒的影响）的可能性。

4.3.2 外部始发事件

4.3.2.1 一般要求

后处理设施设计时应根据外部危害（自然或人为灾害）的性质及严重性进行逐个识别和评价。

4.3.2.2 地震

后处理设施设计时应进行详细的地震评价，以确保设计满足安全性、可靠性要求，包括地震可能引发的下列事件：

- (a) 失去冷却；
- (b) 辅助系统丧失，包括公用系统；
- (c) 密封功能丧失（静态和动态）；
- (d) 安全功能的失效，无法确保地震后设施回到安全状态及保持安全状态，包括建（构）筑物功能和预防其他危害的功能（例如火灾、爆炸、重物跌落和水淹）失效；
- (e) 对临界安全功能的影响，例如：
 - 变形（几何控制）
 - 移位（几何控制、固定毒物）
 - 材料损失（几何控制、可溶毒物）。

应确保在设计基准地震后，人员可接近和操作备用控制室或紧急控制盘。应对保持后处理设施处于安全、稳定状态的监测设备和环境的监测设备进行测试，并使用适当的保守方法进行合格性鉴定，包括使用地震模拟平台。

根据后处理设施厂址特征和位置，应在设施设计中说明由地震引起的海啸或其他极端水淹的影响。

4.3.2.3 外部火灾和爆炸

后处理设施设计时应考虑厂址评价中识别的外部火灾和爆炸危害。

4.3.2.4 外部有毒危害

应评估毒性和窒息危害，以核实预期最大气体浓度满足安全要求。也应确保外部毒性或窒息危害不会对设施的控制造成不利影响。

4.3.2.5 极端天气条件

应通过设计保证后处理设施抵御厂址评价中识别的极端天气条件。通常包括：

- (a) 保持冷却系统在极端温度和其他极端条件下可用的能力；

- (b) 安全级建（构）筑物承受极端天气荷载的能力；
- (c) 预防设施水淹；
- (d) 必要时，根据运行限值和条件将设施安全停车，并保持设施处于安全停车状态；
- (e) 在洪水期间保持地下水位在可接受的范围内；
- (f) 设计中也应考虑极端天气条件引发的次生灾害事件。

4.3.2.5.1 龙卷风

建筑物和通风系统的设计应满足关于龙卷风危害的相关国家法规要求。

龙卷风能够提起并推动体积大、重量大的物体（例如汽车等），应在设施设计阶段考虑此类飞射物撞击的可能性，包括初次撞击效应以及与混凝土墙壁撞击后飞出的或其他形式动量传递飞出的二次碎片撞击效应。

4.3.2.5.2 极端温度

应在冷却系统和辅助系统的设计中考虑到持续极端低温或极端高温的可能性，以防止不可接受的影响，例如：

- (a) 冷却回路的冻结（包括冷却塔和室外装置）；
- (b) 冷却回路失效（炎热天气）；
- (c) 对建筑物通风、加热和冷却系统的不利影响，以免建筑物内工作条件差和湿度过大，以及对安全级物项的不利影响。

只有在运行人员能够得到必要的信息、有足够的响应时间和所需设备的条件下，设计上才能采取限制或减缓上述事件后果的管理措施。

4.3.2.5.3 降雪和冰暴

应将降雪和冰作为建筑物屋顶的附加荷载，例如，应将表面明冰作为垂直表面和公用电缆和管道的附加荷载。应考虑到雪或冰的堆积和渗透引发的水淹，及其可能导致安全级设备（例如电气系统）损坏。必要时应考虑雪的中子反射或慢化效应。

4.3.2.5.4 洪水

对于极端降雨，应关注建筑物的稳定性（例如流体静压和动力效应）、水位的上升和发生泥石流的可能性。设施的选址应高于历史最高洪水位，同时考虑到不确定性要有足够的标高并有足够的裕量（如假设的全球变暖效应），以避免水淹带来严重损坏。

对于外部水淹事件，应关注有损坏风险的热室（设备室）和安全级物项的

潜在漏入途径（密封破口）。在任何情况下，含易裂变物质的设备均应能预防核临界事故的发生。手套箱的设计应承受水淹的动态效应，且所有手套箱贯穿件均应高于任何潜在的洪水水位。应通过设计对电气和仪控系统、应急动力系统（电池和动力产生系统）和控制室加以保护。设计应确保在极端事件中相关物项可连续执行其必要的功能。

4.3.2.6 自然和人为引发的淹没事件

为保护后处理设施抵御淹没事件（溃坝、暴洪、风暴潮、潮汐波、假潮、海啸）——包括静态效应（洪水）和动态效应（上浮和下沉），所采取的措施，主要取决于厂址评价期间收集的设施所在区域的相关数据。建筑物、电气和仪控系统的设计，应遵守与上述危害有关的具体国家法规要求。设计应特别关注无预警的突发事件可能引起公用设施大范围的破坏、中断，以及后处理设施内和场内其他设施甚至当地和潜在的更大区域的公用设施失效。

4.3.2.7 小型飞行器撞击或外部飞射物危害

后处理设施选址时应避开飞机航线。根据厂址评价中识别的风险，后处理设施的设计应承受设计基准撞击（其他小型飞行器）。对于评价撞击的后果或用来抵御小型飞行器撞击或二次飞射物撞击的设计的充分性，只考虑现实的撞击情景、设备旋转的情景或建（构）筑物失效情景。这些情景需要知道可能的撞击角度或由于装载的燃料导致的潜在的火灾和爆炸。一般情况下，不能排除小型飞行器撞击导致的火灾。应制定和实施消防和应急准备响应的具体要求。

4.3.2.8 陆生、水生的植物和动物群落

后处理设施设计中应考虑与陆生和水生群落大范围相互影响的可能性，包括可能限制或堵塞冷却水及通风的入口和出口，害虫对电气和仪表线缆的影响及它们进入废物贮存区等。在有必要对陆生和水生群落采取物理控制或化学控制措施的地方，应对其进行风险评价。

4.4 仪表和控制

4.4.1 安全重要的仪表和控制系统

与后处理厂安全稳定运行相关的仪控系统主要包括：

（a） 临界控制：

—取决于临界控制方法，控制参数视情况应包括质量、浓度、酸度、同位素组成或易裂变物质含量以及慢化剂的量

—考虑燃耗信任制时，临界安全分析要求的具体控制参数，如剪切或溶解前乏燃料组件燃耗测量

—临界控制依靠可溶毒物时，临界安全分析所要求的具体控制参数，如试剂供料浓度测量；

(b) 工艺控制：重要的安全相关控制系统用于：

—导出衰变热

—稀释由于辐解生成的氢气或其他来源的氢气

—监测容器液位

—对温度和其他参数进行控制以防止爆炸；

(c) 火灾探测系统；

(d) 手套箱控制和设备室控制：

—设备室和手套箱的动态密封监测

—设备室和手套箱地坑的液位监测；

(e) 通风控制：

—监测和控制压差，确保后处理设施的所有区域的空气沿正确的流向，即流向污染更严重的区域

—监测通风（烟囱）流量，以监测环境排放；

(f) 职业照射控制：

—应使用带有实时显示和报警的灵敏剂量计，以监测职业照射剂量

—应使用便携式设备和固定式设备来监测全身和手部受到的 γ 或中子辐射

—气溶胶连续空气监测器的安装应尽可能靠近工作区，以确保尽早探测到空气中扩散的放射性气溶胶

—表面污染探测装置的安装和布置应靠近相关工作区且应靠近该工作区域房间的出口

—出入口通道控制应使用相关的探测器和联锁；

(g) 对液体和气体排放控制的监测，应包括用于环境排放的取样系统的操作监测；

应提供仪表以监测以下工况下设施的变量和系统：

(1) 正常运行；

(2) 预计运行事件；

- (3) 设计基准事故；
- (4) 后果比设计基准事故严重的事故（包括设计扩展工况）。

监测的目标是确保获得设施所处状态的充足的信息，并依据设施正常运行程序、应急程序或设施各种状态的事故管理指南（视情况而定）做出正确响应的计划和正确行动。

应提供充分和可靠的控制和适当的仪表，以监测和控制影响工艺安全和设施基本安全的所有主要参数。这些参数包括辐射水平、空气污染条件、流出物排放、临界条件、火灾情况和通风情况。这些仪表应能提供满足设施安全和可靠运行必需的任何其他信息。应采取措施自动测量并记录安全重要参数的相关数值。

根据安全分析和纵深防御要求，仪表和控制系统应具有冗余性和/或多样性，以确保其适当的可靠性和可用性。这应包括必要时为仪表提供可靠的、不间断供电。

4.4.2 就地仪表

后处理设施中，许多区域由于辐射水平和/或气溶胶污染水平高而无法接近或难于接近。应尽可能地避免进入这种区域对仪表、就地指示器或控制站进行操作、观察或维修。在不能避免将仪表布置于这样环境中时，应采用独立外壳或屏蔽，以适当保护仪表或人员。

4.4.3 取样和分析

应通过下列手段监测后处理设施运行的偏离：

- (1) 实时监测仪表；
- (2) 在线分析仪表；
- (3) 就地取样分析，例如核实非放试剂配制工艺所需的浓度；
- (4) 实验室远程取样分析，例如分析中心等。

后处理设施在进行取样分析仪表选型时，应考虑以下因素：

- (a) 设备的可用性及其精度和准确度、可靠性、稳定性；
- (b) 针对关键工艺点的取样分析，应确保将“有代表性”的样品进行送样和测量分析，且样品的实时性应满足工艺需求，必要时可通过不同的分析方法或分析仪器核实分析结果的有效性；
- (c) 必要的校准与测试，例如在线或离线校准与测试；
- (d) 维修和更换的人因工程学设计，包括剂量考虑和及时性问题的。

后处理设施中，许多化学工艺的安全取决于从位于工艺关键点的容器或设备中取得的样品的化学和放射化学分析的准确性和及时性。对于这些关键取样点，有关样品取样和标记、安全传输到分析实验室、测量和向运行人员报告等，应形成文件，并作为管理体系的一部分。应考虑使用条形码编码方法或类似系统进行样品标识，以减少失误的几率。

针对取样操作应分析发生职业照射和人因失误的可能性，并应尽量使用自动取样系统。

4.4.4 控制系统

在运行和事故工况下，充分的非能动安全重要建（构）筑物、系统和部件的设计应作为首选，其次是能动安全重要的建（构）筑物、系统和部件，他们都比行政控制更可靠。自动系统应是高度可靠的，其设计的目的是将工艺参数保持在运行限值和条件之内，或将工艺过程带入安全稳定的状态（通常指停车状态）。

当行政控制作为一种选择时，选择自动系统还是行政控制的准则应基于运行人员是否有足够响应时间，以及基于对动作失败带来的风险和危害的谨慎考虑。当运行人员需要从许多可能的选项中选择最佳响应时，应考虑提供简单的自动或手动响应动作和/或非能动设计特征。如果操作人员未能采取充分或及时的行动，应通过额外的纵深防御措施限制事件的安全后果。

特别是设计措施的层次结构（非能动设计特性的应用优于能动设计特性的应用，最后是管理控制（操作员动作））应根据分级方法及可用的反应时间（宽限期）确定。应考虑采用纵深防御原则，避免对安全性能或安全控制构成威胁。

操作人员应获取足够的信息，以监测远程动作和自动动作的启动及设施响应。应尽可能优先独立显示动作的实际效果，例如流量计显示停止或启动而不仅仅是阀位置指示器。按实际情况，所有显示（仪表、计算机、设施和工艺示意图或模拟显示器）和所有控制室与控制站应遵循工效学良好实践。仪表布局及信息呈现，都应一目了然地向操作员提供设施状态和性能，以帮助操作员迅速且准确地了解设施状态、做出正确的决定和准确地执行决定。

装置应能够以有效的方式提供图像和声音指示偏离正常工况和能影响安全的运行状态。信息显示的方式应能使操作员容易确定设施是否处于安全状态。如果不是处于安全状态，操作员能易于采取恰当的操作，以将设施恢复到安全稳定的状态。

对于放射性物质和重要试剂的转运，除了具体的安全措施以外，作为纵深防御的一部分，应尽可能采取下列措施，以便能尽早探测到运行事件：

- (1) 在单元、建筑物或设施之间使用批式转运；
- (2) 转运前，对每批物品进行特征记录；
- (3) 使用授权程序，允许接收装置授权启动转运和监视转运过程。

当转运自动启动时，尤其是对于经常性转运，应考虑恰当自动探测启动或停止转运故障方法。

4.4.5 控制室

应设置控制室，以集中主要数据显示、设施基本状况的控制和报警。控制室所在区域应为设施内放射性水平较低的区域，将职业照射减到最小。对于特殊工艺，可能需要设置专门的控制室，就地控制室允远程监视操作，从而降低工作人员的照射风险。控制室设计时应特别识别那些可能对工作人员、控制室的运行以及对后处理设施自身控制构成直接威胁的内部事件和外部事件。

4.5 人因工程

应在后处理设施设计和运行中考虑人因工程。应重点考虑控制室、远程控制站和就地工作岗位的人因。至少应在与安全重要的建（构）筑物、系统和部件以及运行限值和条件相关的控制、报警和显示方面考虑人因工程。

设施应被设计成人工操作行为具有高可靠性。

人因工程应在设计阶段得到考虑并应包括：

- (a) 确保操作员能够了解到设施的状态和配置；
- (b) 人的失误对安全的潜在影响，考虑操作人员干预的容易程度和系统对人因失误的容忍度；
- (c) 受到职业照射的可能性。

在后处理设施设计中，应评估设施正常状态（包括维修）下的所有工作场所，识别在异常工况和事故工况下需要人为干预的场所和时间。目的是为了便于工作人员活动，确保在人为干预期间安全功能和支持其的建（构）筑物、系统和部件对人为失误的防御能力。这应该包括优化设计，以防止或减少操作员失误的可能性，例如，阀门闭锁、控制的隔离和分组、故障识别、逻辑显示以及隔离工艺系统与安全系统的显示和报警。应特别注意事故工况下操作员需要快速、准确、容错地识别出问题，并做出适当响应或动作。

在设计开始之初，人因工程方面的专家和有经验的操作员就应参与进来。

应考虑方面包括：

(a) 工效学要求应用于工作场所设计，应考虑以下几个方面：

—良好的人机接口设计，例如，合理布局电子控制面板，使其显示所有必要但不多余的信息；

—取样系统的可靠性和易用性的；

—工作环境，例如，设备有良好的可达性，并且周围有足够的空间；良好的照明，包括应急照明；为了让区域易于保持清洁，适度抛光表面。

(b) 为需要可靠且快速保护的事故序列提供故障安全设备和自动控制系统；

(c) 功能分配，在具体应用中应考虑自动动作与操作员（即手动）动作的优缺点；

(d) 适应和促进良好的任务设计和工作组织的设计规定，尤其是在维修期间，自动控制系统可能被禁用；

(e) 通过对操作员响应的任务分析，确定在最严苛的事件期间所需的最低安全人员配置水平和技能组合要求；

(f) 考虑设施寿期内对额外空间和准入需求；

(g) 为所有专用工具和设备提供专用的贮存场所；

(h) 为设备和公用设施选择合适的位置，并进行清晰、一致和明确的标识，以便于维修、测试、清洁和更换；

(i) 尽量减少使用个人防护设备的额外需求。如有必要，应仔细注意选择和设计此类设备。

应考虑提供计算机辅助工具，协助操作人员对事件进行探测、诊断和响应。

手套箱设计和操作中，应考虑下列具体的工效学因素：

(a) 手套箱内部设备的设计应考虑可能导致伤害工作人员的潜在的传统工业危害，包括手套破口和/或工作人员皮肤伤口和/或可能的包容失效引起的内照射；

(b) 手套箱布置的区域，应易于接近手套箱，且周围有足够的空间，并具有良好的可见性；

(c) 应考虑手套箱密封和手套箱窥视窗密封的维修要求，包括进行维修操作时个人防护设备的需求；

(d) 仔细分析手套箱内所有与操作和维修活动有关的手套和物料转移通道（手套箱与手套箱之间以及进出手套箱的通道）的数量及位置；

(e) 在手套箱的设计定型之前，考虑采用实体模型，并在制造商处进行广泛的工效学测试；

(f) 针对手套损坏的可能性，制定手套以及过滤器（如适用）的更换措施。

4.6 安全分析

后处理设施的安全分析应评价各种危害和放射性物质所处位置，确保对整个设施、所有活动进行综合评价。

应识别所有假想始发事件及其引起的事件情景，并进行详细分析，以确定安全级建（构）筑物、系统和部件以及运行限值与条件。

后处理设施的安全分析应与设计的进程迭代进行，以实现下列目标：

(a) 运行期间工作人员和公众的剂量在可接受限值与运行限值内，并符合防护与安全最优化；

(b) 设计基准事故对公众的放射性和化学后果在对事故工况规定的限值内，并符合防护与安全最优化；

(c) 制定适当的运行限值与条件。

由于后处理设施涉及使用各种各样的设备、材料和工艺，使用包络工况时应具体分析其适用性。只有在严格分析之后表明一组事故在典型包络工况范围内时，才能使用该方法。但是，在减少不必要的重复的安全分析方面，使用这样的包络工况仍然较为重要，应在可行且合理时尽量使用。

4.6.1 运行状态

4.6.1.1 职业照射和公众照射

在后处理设施设计阶段，应评价对工作人员的受照剂量，并应随设计进展完善和细化。工作人员的职业照射评估应包括外照射评估和内照射评估。应在保守假设的基础上进行职业外照射的评估，包括：

(1) 计算外照射时采用如下包络辐射源项：

(i) 最大存量，包括所有放射性物质的活度、辐射源特征和辐射类型等；

(ii) 累积因素，例如应考虑管道和设备内放射性物质沉积和吸附；

(2) 通过以下条件评估外照射：

(i) 工作场所辐射水平（场所剂量率）；

(ii) 工作人员的工作活动类型，活动所需要时间，以及工作人员和（屏蔽的）辐射源之间的距离；

(3) 根据情况计算确定上述情况下的屏蔽要求。

估算公众剂量的计算中应包括来自设施内的所有放射性贡献，即直接或间接的外部照射和因放射性物质的许可排放而通过吸入或食入所致的内照射。对于剂量计算应采用每种贡献的最大值。应使用保守的模型和参数估计代表人（群）的公众剂量。

4.6.1.2 危险化学物质的释放

本导则仅涉及能增加放射性危害的化学危害。应依照化学工业中应用的标准对工作人员的纯化学危害和危险化学品向环境的释放进行估算和评价。

4.6.2 事故工况

4.6.2.1 事故工况安全分析的方法和假设

应依据相关法规标准确定事故分析的相关验收准则。

为了估计事故的厂内和厂外后果，事故分析中应考虑可能导致放射性物质向环境释放或导致丧失屏蔽的物理过程的范围，并应确定包含最坏后果的包络工况。

应按照相关规定要求评估事故后果。

4.6.2.2 评估可能的放射性或相关化学后果

安全评估应说明可能的事故后果。在事故情景的确定和分析中，主要的步骤应包括：

(a) 分析实际厂址条件和未来预期的条件；

(b) 识别可能受到事故影响的工作人员和公众，即设施周边生活的代表人（群）；

(c) 事故情景的参数，及相应的运行程序和运行管理控制；

(d) 依照合理的情景，识别和分析设施条件，包括可能导致物质释放或能量释放而造成不利影响的内部和外部始发事件，放射性释放的时段和照射时间；

(e) 制定可信的安全级建（构）筑物、系统和部件的技术规范以减少事故发生的可能性、探测事故的发生并缓解事故后果。应确定这些在安全评价中认为可信的安全级建（构）筑物、系统和部件在事故工况下有能力可靠地执行相

关安全功能：

- (f) 源项（核素、质量、释放速率、温度等）；
- (g) 识别和分析释放的物质在设施内部的输运途径；
- (h) 识别和分析释放的物质在环境中扩散的途径；
- (i) 量化对安全评价中识别的代表人（群）的后果。

分析厂址实际条件及预期条件，包括可能会影响设施运行或在设施释放的物质输运或能量转移过程中起作用的厂址气象、地质与水文条件。

应采用合格的程序并使用来自合格程序的数据计算物质的环境输运，并考虑可能导致对公众最高照射的厂址气象和水文条件。

应识别可能受事故潜在影响的工作人员和公众成员（代表人（群））。识别内容应包括设施的描述、人口统计学信息以及内照射和外照射途径。

4.7 放射性废物管理

放射性废物管理的目标之一是将后处理产生的放射性废物活度和体积减到最少。

后处理设施的设计应努力确保设施寿期内所有预期产生的废物有指定的处置路线。应根据处置路线，选择处理工艺。确定处理工艺时应不仅考虑废物中的放射性核素，还要考虑其化学和物理性质（例如可燃废物）。

后处理设施的设计应尽量将回收、再循环和再利用最大化，以达到废物最小化和防护与安全最优化，并考虑关于使用回收材料的职业照射与技术限制。设计应包括实施回收和循环的适当设施，并且在总的废物管理策略中还应包括将产生的二次废物减到最少的考虑。

在使用现有处置路线的场所，应以每条路线来确定废物处置前处理。应提供设备和设施（或经确定现有的设备和设施），进行废物特性表征、分类、预处理、处理以及必要时将废物运输至合适的经确认的处置场、中间贮存场所或进一步处理设施。

对于未确定处置路线的废物，应在设计中综合考虑防护与安全最优化、国家法规和监管限值，以及潜在处置路线预留接口。由于处置是放射性废物管理的最后一步，任何采用的废物处置前处理技术和程序应提供与预计废物处置接收要求兼容的废物体和废物包。

设计应尽可能为流出物和废物可能变更处置路线提供措施，以允许将来采

用新技术、知识和经验的积累或监管变化。这尤其适用于后处理设施的气体和挥发性废物。

在设计中应考虑设施全寿期内必要的暂存废物贮存能力，包括必要的备用能力，例如预防高放废液贮槽的故障等。

4.8 流出物排放管理

对流出物进行排放管理时，应采取工程措施去除或降低放射性水平和有毒化学物质的量。设计中应确保在正常运行中满足流出物排放限值，并且避免向环境的意外排放。

设施设计和运行中应采用适当的工艺和设备以尽可能减少和回收放射性气态和液态流出物，同时应考虑所回收试剂中成分的变化或积累。根据辐射防护最优化原则，采取具体的设计措施应确保循环使用的材料是安全的，并适于在设施中重复利用。

应通过工艺尾气处理系统减少后处理排放的气态流出物的活度。在必要的地方，应设置用于减少放射性碘及其他放射性挥发物质或气态物质排放的设备。过滤系统通常应包括保护过滤器的除湿器和由高效空气过滤器（HEPA）串联组成的过滤装置。

应安装监测状态和性能的设备，如：

- (a) 过滤器压差计，用于指示过滤器的更换；
- (b) 排放管道上设置连续取样的放射性活度或气体浓度测量和排放流量测量装置；
- (c) 用于测试气溶胶过滤系统性能的相关取样装置。

应对需排入环境的液态流出物进行处理，以减少放射性物质和危险化学物质的排放。适当的地方应考虑使用过滤、离子交换或其他技术，以达到防护与安全最优化，液态流出物最终排向环境应采用槽式排放的方式。

后处理设施流出物排放系统的设计和排放口位置应进行优化比选，以尽量扩大排放流出物的稀释和扩散能力，并尽量消除可能有损于含放射性物质流出物稀释的颗粒物和难溶液滴。

4.9 环境监测与评价

后处理设施应建设固定监测站和环境监测实验室，开展环境监测工作。

根据设施正常运行工况和事故工况下可能向环境释放的放射性源项，选用合理的、经过验证的大气弥散和水弥散评价模式以及剂量估算模式，评价通过大气、地表水和地下水途径对环境的影响。应评价化学污染物对环境的影响。

4.10 实物保护

后处理设施的实物保护等级应按一级实物保护等级设计。应根据实物保护目标的重要程度和潜在风险，合理划定实物保护分区。实物保护系统应确保实现控制区、保护区、要害区和要害部位的探测、延迟和响应的基本功能，并做到人防和技防措施有机结合，保证实物保护系统完整、可靠与有效。

应在实物保护系统设计方案确定前，基于设计基准威胁进行实物保护系统风险评价和有效性评估，验证系统是否满足各项法规标准的要求，分析系统的薄弱环节、发现系统的缺陷，评估改进措施的效果，并进行利益代价分析。

4.11 核材料衡算

核材料衡算的主要环节应包括：确定衡算区域，材料的测量，记录的保存，编制并提交衡算报告，核实并分析决定 MUF（物料不明损失量）正确性和准确度的衡算数据，并进行评价。

乏燃料后处理设施应提供能对易裂变物质进行衡算计量的手段，包括衡算计量区域划分、衡算计量控制点的设置、衡算计量数据的获取（包括记录、传输和处理）及其相应仪表和分析装置。

应设置核材料衡算平衡区。平衡区应尽量与实体边界相一致，应便于接收、发运、转移核材料的准确测量，应避免互相交叉，应有利于采用封隔、监视措施，同时考虑工艺流程、核材料形态、物料放射性及敏感数据的保密性等因素。

应根据工艺流程及核材料形态便于测量等因素设置关键测量点。测量方法的选择应考虑测量方法本身的准确度和精密度。测量系统应具有追溯性。

4.12 厂内运输

乏燃料接收和场内转运应采用轨道或其他平稳的运输方式。应进行辐射屏蔽，应防止泄漏和临界。产品、放射性废物及其他危险化学品的厂内运输，应尽可能减少运输环节，选择安全合理的运输方式和运输路线。

4.13 应急准备与响应

应提出应急预案的初步方案，其内容应包括营运单位拟设置的应急组织及其职责的框架，应急计划区（如有）范围的初步测算，主要应急设施与设备的基本功能和位置，撤离路线，场内、外应急组织、资源及接口的安排等。

应考虑那些导致或可能导致放射性物质释放，从而危及工作人员、公众健康及环境安全的潜在核事故。所考虑的事故范围不仅要包括预计的运行工况和事故工况，而且应考虑那些发生概率更低，但后果更严重的事故，包括环境后果比设计基准事故更大的事故（包括设计扩展工况）。同时给出初步的应急状态等级的划分。

后处理设施的设计应考虑有效应急响应所需的场内应急设施的要求（包括应急响应设施设备、适当的撤离路线和后勤支持等）。设计也应考虑到在事故条件下，场内和场外应急监测与环境监测的需求。

后处理设施应能够被带入安全状态且长期保持，在此状态和异常状态下以及后续事故工况下应能持续获得关于设施状态的必要信息和监测信息。控制室、应急控制中心的设计和位置应满足可居留性要求。

安全分析应识别应继续执行的安全功能，以便在事件发生期间及之后不会影响控制室自身，例如火灾，或外部产生的危险化学品物质释放。考虑为安全功能设置选择合适的备用控制室或其他备用手段，例如应急控制盘。

5 建造

后处理设施建造周期长，会涉及到较多的设计方和承包方，设计、建造和前期调试等工作有可能在设施的不同部分中同时进行。作为管理体系的一部分，营运单位应制定建造阶段质量保证大纲和设计变更程序，以避免在建造过程中的风险，以确保尽量降低与设计意图之间的偏差。

后处理设施是包含复杂化学工艺和机械操作的大型核设施。后处理设施的建造应尽可能地使用模块化、标准化的部件，以确保这些部件交付现场前的质量。

设备在安装前，应尽可能在制造方厂房或现场进行测试和验证。应在建造和安装前选择合适的时机对特定的安全级物项进行测试和验证，如屏蔽效率的验证，中子解耦装置测试，临界风险相关的几何尺寸的验证和焊缝检测等。

营运单位应采取措施防止安装仿造、假冒、不符合或低于标准的部件。

设备安装前应清理现场异物，并对已安装的设备进行保护。

后处理设施的改扩建工程对运行人员、建造人员、公众和环境都存在各种潜在危害。应尽可能地采取隔离措施将现有设施与新建设施之间的不利影响降到最低，并采取措施预防各区域可能发生的事件。

对于一些安全级建（构）筑物、系统和部件，在建造和安装完成后可能无法验证其是否符合要求，安装单位应在建造和安装期间对其进行测试。营运单位的代表应见证此类测试，并将测试结果记录在第一阶段调试报告。在建造阶段测试物项的典型例子包括抗震支吊架，墙体均匀性（屏蔽或屏障）、管道焊接、容器和其他非能动安全级建（构）筑物、系统和部件。多数情况下，要包括直接见证检查采购质量控制、安装、测试活动，以及维修相关的活动。

当无法直接测试安全功能时，应在后续调试阶段开始前，经国家核安全监督管理部门同意，使用替代方法进行验证，替代方法应能够充分证明安全级系统、建（构）筑物和部件性能。替代方法包括检查、审查材料记录和供应商人员培训记录等。

在这一阶段其他构筑物、系统和部件可以依照相关法规标准要求进行测试。

6 调试

本导则主要涉及后处理设施安全方面相关的调试。由于后处理设施的复杂性和高危险性，应严格遵守确定的调试程序，并吸收以往调试和运行中的经验教训。

6.1 总体要求

应尽可能将调试工作同设施正式运行一样对待。应通过调试使员工逐渐遵守运行操作规程。

营运单位应充分利用调试阶段熟悉设施，并在整个组织中培养良好的核安全文化，积极的行为和态度。在熟悉设施的过程中，应对所有的工况予以考虑：

- (a) 设施正常运行；
- (b) 开车和停车过程；
- (c) 维修或整改工作；

(d) 应急响应。

营运单位负责整个后处理设施的安全，应在调试阶段成立负责核安全监督的内部机构。该组织机构应关注：

(a) 由于调试需要而对设计进行的变更或修改，或者作为调试结果需要设计上的变更或修改；

(b) 调试结果；

(c) 安全分析报告；

(d) 作为调试结果，对安全分析报告的修改。

调试前，应确定调试期间需要测量的安全级参数的预期值。这些值连同测量的不确定度和偏差用于评估调试结果是否满足预期要求。不满足预期要求时，应进行必要的再测试和再评价。测试应在规定条件下重复足够多的次数，以验证其可重复性。

通过安全评价确定并由监管机构批准的安全级参数，应在调试期间确认运行限值和正常值。另外，应确认并验证由于测量精度或不确定度引起的裕量，还应确认并验证由于设施瞬态或其他小的波动引起的可接受的变化值。这个方面的考虑应包括设施状态变化的过程（例如在生产活动的启动和末尾阶段）。此类限值和数值可包括将接收的燃料的类型、数量和状态。应将这些限值和数值体现在安全分析报告和操作规程中，包括预计运行事件及处理方法、应急演练。

调试通常需要临时性的工作或装置。营运单位应：

(a) 制定合适的控制措施对临时性的工作和装置的使用进行控制，例如使用变更流程；

(b) 指定负责人监督控制措施；

(c) 特别注意在建造期间因疏忽遗弃的废焊条、建筑材料及碎片等，确认此类异物的清除是调试工作目标之一，同时需加强控制，限制其再次被引入。

控制措施还应包括确认所有临时性工作和装置在调试结束时已被移除，或作为变更经批准后留在原地，并纳入到修订的最终安全分析报告中。

调试临时程序往往需要暂时取消或减少保护屏障（包括实体屏障和管理屏障），或绕过相关程序和控制体系。营运单位应采取控制措施来控制这些程序，并纳入针对所有操作程序的管理体系。应特别注意，确保所有临时程序不再需要时立即撤销，确保在调试结束时不存在仍生效的临时程序。

在调试引入非放射性模拟物料时，应结合调试目的尽可能选择与运行使用

的物料特性一致的模拟物料。如果特性不同，应在批准使用前严格分析相关差别可能会带来的影响，确定潜在效应对设施寿期内整体性能的影响，同时应确定由这些差别引起的对调试结果有效性的影响。应采用类似控制措施，确保常规物料不能代替特殊要求的物料，如用饮用水、生产水替软化水，除非对潜在影响进行了全面的评价。

热调试阶段在开始前和完成时需要监管机构的批准。监管机构应明确与设施和活动的复杂性及潜在危害相适应的停工待检点和见证点，并在调试期间进行必要的检查，以验证监管要求和许可证条件是否得到遵守。营运单位应与监管机构建立并保持有效沟通，以确保全面了解监管要求并遵守。

调试应至少包括以下活动：

- (a) 确认屏蔽、密封、包容性能；
- (b) 确认临界探测和报警系统的可用性；
- (c) 应急演练和演习，以确认应急预案是充分、可靠的；
- (d) 确认人员培训和资质满足要求；
- (e) 确认其他探测和报警系统（例如火灾探测和报警系统）的可用性。

在正常和异常情况下，各组织之间的沟通是设施总体安全至关重要的组成部分。应通过调试练习并熟练使用通信线路和相关设备。应采用人性化技术来协助对人员进行沟通培训，例如三向沟通，班前简报，班后回顾，质疑的态度和同行审查等。应利用调试编制并确定值班日志的标准格式和交接班程序，通过调试培训人员正确使用值班日志，并评估使用效果。

6.2 调试大纲

后处理设施宜采用分工段或分子项、分系统调试的方式。如果采用分阶段调试，营运单位应确保已经调试完的工段或子项、系统得到合适的维护，确保调试期间每个工段或子项、系统获得的知识和经验得到保存。应考虑后续的安装和安装工程可能对调试完的安全级建（构）筑物、系统和部件造成变更的可能性和风险。调试大纲中应包括变更前后对已完成调试的安全级建（构）筑物、系统和部件必要时进行再验证测试或确认的要求。

调试大纲应至少包括：调试的组织机构和职责、调试阶段、调试内容、进度安排、调试程序、审查和核实的方法、偏差和缺陷的处理、主要审查点和控制点等。应对调试大纲进行审核、审查和核实，确保试验按计划执行并确保满

足大纲目标。不得进行可能使设施进入没有分析过的工况的试验。

营运单位负责核安全监督的组织机构应对分工段或分子项、系统调试的组织控制，以及调试组与设施内其他组织之间的协调提出安全建议。组织机构也应对测试过的安全级建（构）筑物、系统和部件及其辅助系统，在下一个调试阶段前是否需要再次测试确认给出建议。对于刚调试完的工段或子项、系统是否由于安全分析报告的修改或升版造成对下一阶段调试的延误给出建议。

应合理组织调试顺序，及时为正在调试的设施提供所需的支持。这主要涉及设施的“上游”部分（包括电力、蒸汽、试剂、冷却水和压缩空气等公用设施）、设施的“下游”部分（包括固体暂存、废水处理、废液和废气排放和环境监测）和设施的“辅助”部分（包括自动取样装置、样品输送网络和分析实验室）。营运单位负责核安全监督的组织机构应对调试顺序提出建议，尤其是避免因设施下游部分不可用而造成环境的污染。

6.3 调试阶段

对于后处理设施，调试应根据预期目标分为若干阶段。通常包括以下 2 个阶段。

6.3.1 阶段 1：非放射性调试

非放射性调试包括水调试和化学调试。由于本阶段没有使用放射性物质，采取纠正措施相对容易，应尽可能在本阶段多开展验证和测试。

在本阶段，运行人员应进一步制定和完善调试、运行文件并了解系统的细节。调试、运行文件应包括与设施运行和维修有关的程序，以及包括应急在内的所有预计调试、运行事件处理的有关程序。

本阶段是在非放射性条件下检查设施的最后机会。应在本阶段模拟通风、电力、蒸汽、冷却水和压缩空气等辅助系统瞬态或完全失效工况。应通过此类测试和模拟提高应急响应的能力。

在本阶段应确保完成所有必需的整改和维护，尤其是在放射性调试后仅能通过远距离维修的设备的整改和维护。应在本阶段验证维修程序和控制措施，加强剂量控制措施以及使用必要的辅助工具来简化和加快维修。

后处理设施房间、设备、系统、部件、电缆和管道应有清晰、一致和明确的标识。应在非放调试期间检查确认运行文件与此类标识的一致性。

应确认所有物理接口已经按照预期完成。对不符合项应进行评估，必要时

予以纠正或接受，如果接受不符合项，应进行审批流程并更新相关技术文件。

6.3.2 阶段 2：放射性调试

放射性调试一般可以根据放射性的高低细分铀调试和热调试。

6.3.2.1 铀调试

在本阶段应使用天然铀或贫铀作为物料，以避免临界风险，尽量减少职业照射，并尽可能降低去污需求。本阶段应进行核材料管控制度的调试，这在引入裂变产物和易裂变材料的放射性调试阶段是必需的。本调试阶段实施的安全测试应重点对包容的检查，包括：(i) 气溶胶；(ii) 表面污染；(iii) 气态和液态流出物排放以及放射性物质的意外积累。

后处理设施引入放射性物质后，所有监测设备（固定式和移动式）及人员剂量仪表均应处于正常工作状态。

应在本阶段对一些可测量的参数进行验证。必要时应考虑使用示踪剂以加强此类验证试验。

在进入铀调试阶段前应急组织应落实到位，包括：程序、培训、应急物资、足够数量且培训合格的人员、应急演练和演习。应通过演习来测试应急响应能力。

6.3.2.2 热调试

在热调试开始前，营运单位应已获得设施运行的监管许可。在本阶段，营运单位将采取与设施全面运行时相同的安全程序和组织管理模式开展热调试。

热调试期间应全面实施对于设施运行阶段有效的安全制度。除非进行了安全评估，并获得监管机构的批准，否则安全制度不应停止执行或更改。

应执行运行期辐射防护大纲的全部要求，包括工作人员个人剂量监测和工作场所剂量监测。

相比其他调试阶段，热调试对于设施控制部署和员工技能方面要求有很大改变，例如有关的包容、临界、冷却和辐射。设施的管理应确保在热调试实施前，设施和工作人员需要为转变到热调试而做好准备。应在这一阶段提升安全文化，以实现安全运行。

本阶段应通过稳步增加进入设施的乏燃料的质量和活度，使工艺逐步进入全面运行的状态。

本阶段应对之前仅经过计算得到的参数进行进一步测量验证，尤其是场所辐射水平、气溶胶水平、流出物排放以及工作人员内、外照射。应通过这些测

量验证的反馈来指导纠正行动，并改进估算中的假定。

6.4 调试报告

各调试阶段完成后应编制调试报告。调试报告应至少包括：调试目标、调试依据、调试内容、调试（含数据分析）、调试结论、纠正措施等。

编制调试报告的目的是提供各调试阶段的全面记录，并作为设施和营运单位准备就绪可安全进行下一调试阶段的依据，并对设计进行经验反馈。

调试报告应描述开展的安全调试测试，证明设施符合设计和安全评价，并总结必要的纠正措施。

调试报告应包含设施辐射和污染调查结果、取样与分析的测量结果，尤其是与各种流出物排放和环境有关的结果。

为了证明营运单位准备就绪，调试报告也应对以下方面予以描述：

- (a) 设施工作人员情况，包括管理人员的数量、专业、培训、发展和评估；
- (b) 设施的管理体系以及必要的程序和指令的制定；
- (c) 按工作组统计的内部和外部剂量数据，总结开展的剂量调查；
- (d) 审查并总结营运单位的反馈以及工作人员对设施活动的反馈，如：
 - 活动和任务的组织实施
 - 简报、程序、工作方法、工效及人因的总体情况
 - 设备和工具
 - 辅助活动（如辐射和污染调查，去污，使用个人防护设备，以及对任务期间发生事件的响应）
 - 应急演练和演习
 - 安全文化、营运管理等。

应在调试报告中总结调试期间发生的所有事故和事件，并明确吸取的经验教训。

应在调试报告附件中提供调试的详细结果，包括所有测试、校准、检查的结果，调试报告应列出所有安全级建（构）筑物、系统和部件以及经调试与测试的运行限值和条件，包括检查和维修活动。另外，报告应包括所有假定或与安全评估有关的数据在调试期间的确认情况。

调试报告应经营运单位最高管理者的批准，并按照国家法规要求向监管机构提交。

7 运行

7.1 运行管理要求

7.1.1 组织机构

后处理设施的运行、计划性维修和非计划性维修等工作都需要缜密的控制、计划和协调。营运单位应建立一个职责分明的运行组织机构和管理体系来管理和协调上述工作。

应有 24 小时连续运转的组织机构，组织机构中应包括运行人员、工程技术人员、辐射防护人员、应急管理人員、有经验的现场人员或随时待命人员和其他必要的人员。通过进行授权以确保现场始终有具有相关权限的人员，与应急响应能力要求一致。

针对营运组织机构要求如下：

(a) 应在相关人员、设施和组织之间建立和维持适当的接口（特别是应用现场通信程序），包括：

- 后处理设施中倒班人员和日常运行白班人员之间
 - 后处理设施和厂内其他设施之间
 - 后处理设施和负责厂内放射性物质运输的组织单位之间
 - 后处理设施和任何负责有关设施优化改进的组织之间（例如，提高产量或增加额外容量的项目）
 - 后处理设施与参与后处理设施应急响应功能的外部应急服务组织之间；
- (b) 应定期检查后处理设施的运行组织机构、后处理设施相关人员的培训、经验和专业知识，确保一直都具备充足的知识和经验。应审查所有合理可预见的细节，包括员工的缺勤等。

应建立后处理设施运行阶段负责核安全的组织机构。应在管理体系中明确该组织机构的职能，配备适当的人员，应包含各技术领域的专家，并适当地独立于营运单位的纵向管理。

7.1.2 人员资质与培训

营运单位应制定相应的培训、考核、资格管理和持照岗位管理制度。设施操作人员应按照规定取得相应资格证书。

在制定培训大纲时，应充分考虑操作人员、维修人员和其他人员所面临的安全风险和危害。特别是所有处理易裂变材料的人员，包括处理含易裂变材料

废物的人员，均应充分了解核临界安全相关知识。

应针对各级管理人员进行培训。设施管理和运行人员应根据其职责要求了解后处理设施的复杂性和存在的危害类别。

培训应涵盖自动操作和手动操作。必要时，应建立专门的培训设施，根据活动的潜在安全后果确定培训重点。

对于手动操作，培训应包括但不限于下列内容：

- (a) 主-从机械手和其他远距离操作设备的使用；
- (b) 可能涉及在设施放射性区域内干预或进行设施改造的维修、清洗活动和工程活动；
- (c) 设施内的物料取样；
- (d) 手套箱内的操作，更换手套及手套箱过滤器；
- (e) 工作区清洗去污及准备工作、临时围挡的安装和拆除，以及废物操作；
- (f) 打开屏障、自我监测和个人防护设备使用的操作步骤；
- (g) 针对异常运行工况的响应（包括应急响应行动）。

对于自动操作，培训应包括但不限于下列内容：

- (a) 控制室综合培训；
- (b) 警报响应；
- (c) 对自动与远程系统可能的误报警；
- (d) 关键参数意外变化（或缺失）的报警；
- (e) 处理量提升段和下降段（包括开停车阶段）可能会产生的操作差异；
- (f) 针对异常运行工况的响应（包括应急响应行动）。

7.1.3 运行文件

后处理设施应严格遵循运行方面的要求。

根据运行限值、条件以及相关决策的潜在安全影响赋予适当层级的管理人员做出运行决定的权力。管理体系应规定每个管理层级的权力和职责，必要时也要规定个别岗位人员的权力和职责。如果出现超出运行限值和条件的情况，应通知适当级别的管理层。在运行程序中尽可能地规定出于安全原因需要立即决定或响应的情况。应根据运行程序对相应的倒班或白班人员进行培训并向其授予作出必要决定的权力。

营运单位应详细调查超出限值的运行事件，并吸取经验教训，防止事件再

次发生。应依照国家法规的要求，及时向监管机构通报所发生的事件和所采取的措施，并持续报告后续的调查情况及结果。

编制的运行文件应列出设施的所有限值 and 条件，并规定将工艺状态带回到限值的程序。

在运行程序中，和安全直接相关的程序步骤应明确规定所有限值 and 条件，以统一的格式突出显示。应在管理体系中采取措施确保识别和突出显示的全面性和一致性。应考虑依据安全重要性将程序分类，如使用分级方法等。

运行程序应能迅速的控制、指导工艺运行。运行程序应覆盖所有运行状态，包括处理量提升段和下降段。同时也应制定非正常运行状态、事故工况下的程序。运行人员应针对这些程序进行充分的培训和评价，必要时可进行模拟或演习。

应直接或通过接口文件将制定的文件与安全事项、运行限值和条件，系统地联系起来，确保通过操作指令完全满足安全要求。运行记录应能证明安全指令、运行限值和条件始终都得到了满足。

7.1.4 变更控制

后处理设施的管理体系应包括针对所有变更使用的标准程序。程序应使用变更申请单或等效管理工具。营运单位应编制程序指南并提供培训，以确保责任人经过必要的培训和授权。针对安装、调试和运行过程中的潜在危害，应评估变更的安全性，做出的变更决定应是保守的。

变更申请单中应包含对变更内容及变更原因的描述。应使用变更申请单识别可能受变更影响的安全物项。变更申请单应说明变更过程中及变更后对潜在危害已采取适当且充分的安全措施。变更申请单还应确认是否需要由监管机构更新或延续许可证。

变更申请单应经有相应资质的人员审查和批准，以核实安全论据是否可靠。针对可能对工作人员或公众辐照有影响的变更申请，应进行重点审查。变更的安全论据的深度和详细审查的程度应与变更的安全重要性（潜在危害）相符合。应由负责其核安全监督的内部机构审查变更申请单，该组织机构应拥有相应的专家并能独立检查。应对专家建议的记录进行存档。后处理设施应指定专人负责批准和管理变更。此类授权应定期进行审查。

变更申请单应明确由于变更导致需要更新的文件和培训。

文件和培训的控制程序应确保可按变更申请单中的规定执行：

- 已经进行了培训和评估
- 在变更生效前文件已经更改
- 变更后合理期限内，完成所有（剩余）文件和培训要求的更改。

变更申请单应明确在变更的系统再次全面运行前所需的功能检查（调试检查）。

应定期审查设施变更，确保安全影响小的变更产生的综合效应不会对设施总体安全产生不可接受的影响。并将此作为定期安全审查的一部分。

只有确认变更申请单所有要求已经就位，并且所在岗位的操作人员经过了实体操作（包括维修在内的）的培训，不会对运行限值、条件和安全级建（构）筑物、系统和部件产生影响，才可以重新投入运行。

7.1.5 运行经验反馈

营运单位应当建立核安全经验反馈体系。应对设施调试、运行阶段（持续进行）的经验教训进行收集、评估和反馈。同时也应吸取其他后处理设施或有类似风险的设施（如化工厂）的经验教训。

7.2 设施运行

7.2.1 总体要求

营运单位应在组织内部为乏燃料处理计划进行职责分配，制定清晰的制度、规程，以明确乏燃料处理计划的管理及独立验证条款。

后处理设施只可接收一定规格参数的乏燃料。乏燃料处理计划应考虑乏燃料规格参数和设施中安全相关的限制参数。

工艺过程控制通常依靠仪表读数和样品分析数据。应根据管理体系的规定使用分析仪器和建立分析方法，并应进行适当的校准和验证。应根据既定程序管理取样及样品分析活动以尽量减少工作人员受照剂量，并对产生的废物进行管理。基于样品分析做出的决定应考虑取样过程和所用分析方法的准确性，必要时还要考虑取样和得到分析结果的时间延迟。

工艺料液和废物按批转运后，操作人员应尽可能地确认从供料容器转运的体积与接收容器所接收体积的一致性。

营运单位应采取措施应对生产间歇期间集中维修的特定风险，包括专门的培训、分配更有经验的工作人员到人员经验较少的班组以及加强工作监管。

管理体系应包括内部审查大纲的规定。内部审查大纲目的之一是定期确认

设施的运行是符合运行程序的（包括设施的运行限值和条件、安全事项和许可证条件）。应由具备相关资质且经验丰富的人员开展此类审查，审查人员应是独立于纵向管理的人员。

尽可能地确保设施的所有区域都会受到定期检查。要特别注意对异常情况的记录、评估和报告。巡检大纲应具有适当程度的独立性（例如，来自厂内其他设施的人员或厂外人员）。巡检内容应包括：

- (a) 与液位或泄漏、密封和通风失效相关的就地仪表读数和可视信号；
- (b) 设备定期安全检查情况；
- (c) 监督区和控制区出入口情况；
- (d) 临时受限区域的数量和情况；
- (e) 个人剂量计的有效性和状况；
- (f) 废物积累情况；
- (g) 化学试剂和设备合规贮存情况；
- (h) 应急设备的待命情况。

后处理设施运行寿期内应定期进行系统的安全评价。应基于设施的实际状况、运行经验、预期的寿期末状况、目前的分析方法、适用的规定、标准及科技水平进行定期安全评价。定期安全评价的范围应覆盖设施的所有安全方面。设施运行时应评价设计中考虑的老化机理和鉴别在使用中可能发生的预计不到的情况或性能劣化。应根据定期安全评价结果，实施必要的纠正行动，以符合法规和标准要求。

营运单位应当根据当前设计基准威胁定期对实物保护系统实施风险评价和有效性评估，对相关设备进行性能测试。实物保护系统经过验收并运行 1 年后，应进行有效性评估工作；应与设施定期安全评价同步开展实物保护系统有效性评估；实物保护系统进行重大升级改造后也应进行有效性评估。

7.2.2 临界安全控制

后处理设施应严格执行临界安全控制的程序和措施。

后处理设施运行过程中临界安全控制的管理措施包括：

- (a) 严格遵守预先确定的乏燃料处理方案；
- (b) 密切关注可能增加临界事故风险情况的意外变化；
- (c) 临界安全控制程序的培训；
- (d) 慢化材料的管理，尤其是含氢材料；

- (e) 在采用质量控制的地方，易裂变物质转移的质量管理；
- (f) 建立检测任何偏离正常条件的可靠方法，尤其是那些用于防止临界参数；
- (g) 定期校准或测试临界安全控制系统；
- (h) 撤离演练，以做好发生临界或临界报警启动的应急准备。

在每个后处理生产周期开始向溶解器供料之前，应依据本生产周期乏燃料处理方案检查临界报警参数的设置，如有必要应进行修改。乏燃料处理方案应尽可能辅以适当的燃料监测仪表和管理控制，确认燃料特性符合乏燃料处理方案。所有用于乏燃料处理方案计算的软件应经过适当的验证与核实。

当在核临界安全分析中使用燃耗信任制时，若需要进行燃耗测量，应谨慎考虑相关测量的不确定性。

化学分离过程应特别注意控制和监测易裂变物质浓缩或可能被浓缩。后处理设施需要特别注意铀聚合物的产生，草酸铀沉淀在设备及管道中的积累和结疤，引起铀在萃取设备中滞留或进入铀产品线或废液中产生铀损失，从而带来临界或内辐照风险。

应在设施操作程序中关注下列问题：

- (a) 隔离，通常通过断开或适当锁定装置隔离水或其他试剂清洗管线；
- (b) 正常的和允许的易裂变材料浓度；
- (c) 供料参数设置和试剂（溶剂和水）的控制；
- (d) 依据工艺流程调节含易裂变材料的溶液；

为满足上述要求可在监测易裂变材料的仪表上辅以适当的报警设置。

在易裂变材料特性存在不确定性的地方，例如在开展维修工作时和不同生产周期期间，易裂变材料含量和同位素成分等参数应使用保守值。

依据运行限值和条件，应在必要时停止易裂变材料的转移以避免发生临界，上述情况出现后应经过评估并有计划进行恢复。应在适当的程序中，尽可能对所有此类情况作出预计、评估，包括使设施返回安全且稳定状态的恢复程序。临界安全人员应参与此类决策，并开展事件分析和经验反馈。

7.2.3 辐射防护

营运单位应有防护和安全最优化的政策，制定适当的辐射防护大纲，确保防护和安全的最优化，确保工作人员和公众的照射剂量符合剂量限值要求，并达到合理、可行和尽可能低的水平。为满足上述限值要求应采用所有合理可行

的物理手段和管理措施进行防护。

运行阶段辐射防护大纲应考虑源的积累和多样性、后处理设施的规模和复杂性。

运行阶段辐射防护大纲应包括监测相关设备或房间辐射状态变化的规定，包括对流出物监测或环境辐射监测的规定。应确保迅速发现和识别问题，并及时采取纠正和缓解措施。

应由经过培训人员对工作场所进行定期、例行的监测，并尽可能地对整个后处理设施现场开展定期工作场所监测。应特别注意记录、标识或张贴、评价和报告异常辐射水平或异常情况。工作场所监测的频率应与区域辐射或污染的相对风险相关。辐射防护人员应根据易识别的边界，考虑制定对每个设施区域的监测频率。

辐射防护人员应当参与到与运行管理相关的辐射防护最优化要求的决策过程。

7.2.3.1 运行期间辐射防护

所有操作过程都应提供内照射和外照射的防护措施。必要时应考虑受照射时间的限制、使用额外屏蔽和远距离操作，使用实物模型以便对人员进行培训，优化复杂或高剂量任务，以尽量减少受照射次数和照射水平，并将风险降至最低。

设施内应保持高标准的运行管理。应尽可能地使用不造成空气污染的清洗技术。维修或类似干预措施产生的废物应及时地分类收集并暂存或直接处置。

应对设施区域和设备开展定期污染调查，以确认设施清洗方案是否有效。应在辐射或污染水平增加后迅速开展调查。执行额外的清洗和提供额外的屏蔽可能导致额外的辐射照射，应与常规操作的正常照射保持平衡。

为了有助于运行人员评估任务的风险和确定污染或辐射常规调查的频次，应考虑将设施区域进行污染或辐射等级划分。等级的确定应基于设施设计中使用的分级，并征求辐射防护人员的意见。应定期检查和调整这些污染区及其边界。如果气溶胶水平超过预定的行动水平，连续气溶胶监测设备应具备报警功能。行动水平应尽可能接近该区域的正常水平。必要时，例如在维护或其他操作中有污染扩散的风险时，应在污染源附近和污染区边界使用移动式空气采样器。一旦出现气溶胶的高水平读数应立即进行调查。

应对新确认的污染区进行划定，并根据设施程序要求正确标识和设置屏障。

应采用临时包容措施应对更高级别的污染，例如在进入点设置带污染检查的临时围栏，或者设置专用的局部通风系统。应对污染区域、屏障和围栏做好登记。

管理层应定期审查临时污染区登记。通过去污或消除根本原因，尽可能减少临时污染区的数量，必要时需对设施或其程序进行修改。

在运行人员、辐射防护人员、维修人员和管理人员之间，应建立和保持良好的沟通，以确保及时采取纠正行动。

应培训工作人员在运行状态下正确操作，例如，进行通用要求的培训和所在设施辐射防护要求的特殊培训。

应对工作人员进行剂量仪表和个人防护装备的使用培训，包括防护装备穿戴，并进行个人监测。个人防护设备应保持良好状态，定期检查确保随时可用。

人员和设备应进行污染检查并去污，并应按要求在适当的区域进行去污。

应仔细考虑放射性危害与工业危害共同作用。应特别注意与使用个人防护设备有关的风险和利益平衡，特别是空气供应系统。

7.2.3.2 直接维修工作的辐射防护

直接维修工作程序应包括以下内容：

(a) 工作前对所有工作人员（包括去污工作人员）的预期剂量进行估算；

(b) 对所有工作人员，应通过以下准备活动以尽量减少个人和集体剂量：

—直接维修引起的特定风险的识别

—尽量减少辐射源，例如工艺系统和设备的冲洗和漂洗

—考虑使用实物模型模拟操作、使用远距离操控设备

—额外的屏蔽或个人防护装备、监测设备和剂量计以及时间和剂量限制；

(c) 工作期间的剂量测量：

—如果剂量（或剂量率）显著高于预期，则应考虑撤回人员并对工作重新评估；

(d) 通过经验反馈优化改进：

—对于持续的维修活动，应将经验反馈应用于正在进行的任务。

应根据风险水平制定和应用相关工作程序：

(a) 应建立包括工作区在内的临时控制区。根据所评估的风险，必要时可能设置：

—带有过滤器的临时通风系统和围栏

—带有适当附加的辐射和气溶胶监测仪器的屏障；

(b) 应在指定的进入点提供个人防护设备，并在处理任何有放射性的物质时使用；

(c) 根据已评估的风险，辐射防护专业人员应在工作场所监测辐射条件和其他安全相关条件；辐射防护专业人员应有权在不可接受的风险情况下终止工作和撤回人员。此人还应协助维修人员穿戴和监测个人防护装备。

针对维修时正常的密封屏障减弱或移除的情况，应执行上述建议要求。

7.2.3.3 职业照射监测

应按照辐射防护最优化的原则制定适当的职业照射监测大纲（即监测计划），进行相应的监测与评价，确保防护和安全的最优化，确保工作人员和公众的照射剂量符合剂量限值要求，并达到合理、可行和尽可能低的水平。应在适当的地方提供监测仪表，以便在运行状态和事故工况下快速、可靠、准确地指示气溶胶活度浓度和场所辐射水平。

应事先估计并在工作活动期间监测人员剂量，使用适当的固定式工作场所监测设备和个人剂量计，最好具有报警功能。

工作场所监测的范围和类型应与预期的气溶胶水平、污染和辐射类型及其潜在照射和放射性污染变化相适应。

个人剂量计应根据需要使用。必要时累积剂量和剂量率都应设置报警。

个人剂量计和移动式辐射探测器的选择和使用要适应预期的辐射能谱和放射性物质的物理状态。

后处理设施中用于监测局部剂量率和个人剂量及气溶胶活度浓度的设备应根据实际需要包括：

- (a) β/γ 和中子监测设备和仪表或剂量计，临界事故探测器等；
- (b) 肢端剂量计，例如，测量手指剂量；
- (c) 带有即时、就地报警功能的移动式气溶胶监测设备，用于维修工作区、帐篷、临时围栏和气闸；
- (d) 用于低水平气溶胶监测的移动式空气取样器。

评估内照射剂量的方法应基于个人内照射和外照射监测，辅以及时收集的工作场所空气采样数据，并结合工作人员职业数据。必要时固定探测器和个人剂量之间的关系应通过在限定期限的取样周期内使用个人空气采样器进行验证。

在房间或区域内探测到异常辐射或污染时，应对该区域的工作人员进行检查，并根据结果实施相应的去污或医疗干预。

后处理厂的辐射防护监测主要包括个人监测和工作场所监测外，个人监测包括按照国家法规实施常规的内照射监测和生物取样。必要时，应在监测大纲中考虑到危险化学品和放射性影响。

针对职业辐射防护与内、外照射的辐射评估需满足国家相关标准规范要求。

7.2.4 防火、化学与工业安全管理

后处理设施中常规非核风险主要包括：

- (a) 处理或贮存的常规化学品；
- (b) 用电作业；
- (c) 火灾和爆炸；
- (d) 过热水和蒸汽；
- (e) 窒息；
- (f) 重物跌落；
- (g) 高处坠落；
- (h) 噪音；
- (i) 粉尘。

7.2.4.1 化学危害

后处理设施运行应降低使用危险化学品带来的危害。应特别关注高温工艺及在萃取过程中使用的有机溶剂带来的危害。

后处理设施和分析实验室应通过工作程序控制化学试剂的使用，以预防爆炸、火灾、中毒和危险化学反应。程序应明确使用的化学品的性质和数量。必要时应提供眼睛防护和局部通风。应考虑是否需要处理化学品洒落的呼吸仪器、设备以及用于化学应急的防护服。

大量化学品应贮存在工艺区域或实验室以外的通风良好的位置或专设的安全贮存位置，最好是低占用率区域。应清楚地标记化学品贮存容器，包括化学品的潜在危害。

操作人员应被告知可能存在的化学危害，同时应经过工艺化学品危害培训，以便操作人员充分识别和应对可能导致的化学危害。

应加强对废弃危险化学品处置管理。建立健康监督制度，对可能受有害化学品影响的工作人员的健康进行例行监测。

7.2.4.2 火灾和爆炸危害

后处理设施会使用易燃的、可燃的、易爆的、强氧化的物质，应提供适当

的应急系统和措施，以预防、缓解和探测与这些物质相关的危害，并定期演习，确保可以对任何事件迅速响应并能将影响降至最低。

尽量减少自燃金属（如锆屑）的火灾危害，按照程序监测和定期检查这些物质可能积累的场所。必要时需对设备进行例行冲洗。

含易裂变材料区域的火灾响应程序和培训应尤其关注预防核临界，以及防止临界安全裕量出现任何不可接受的减少。

应在工作许可、设施程序和指令说明中包含对涉及潜在点火源活动可能引起火灾而导致的潜在放射性后果的充分评估，以及必要的检查表，并应制定必要预防措施。

应严格执行预防和控制各种废料积累的措施，以尽量减少后处理设施所有区域中的火灾荷载。废料积累的审查应当是各级人员例行检查和监督活动中的一个重要内容。应将消防专业人员定期检查作为安全防护工作的一部分。

为确保消防系统的效率和可操作性，应实施合适的程序、培训与演练，包括：

- (a) 消防系统相关设备定期试验、检查和维修；
- (b) 常规和详细的操作规程以及消防人员的相关培训；
- (c) 消防计划；
- (d) 包括涉及厂外应急设施的消防演练；
- (e) 运行人员和应急人员的培训。

7.2.5 维修、校准、定期试验和检查

7.2.5.1 维修、定期试验和检查

应对后处理设施的维修过程进行协调和管理，确保维修与运行之间或在两项维修活动之间的相互影响不会导致负面的安全后果。

管理体系应确保审查所有维修活动中关于维修物项可靠性和性能问题的证据。应定期审查较高风险的、复杂的或延伸的维修活动，从中汲取经验教训，以便对防护和安全进行优化。负责其核安全监督的内部机构应对事关安全的重要建（构）筑物、系统和部件的维修报告以及任何其他对设施安全产生影响的重大情况进行例行审查。

在任何维修活动之前，应考虑工作区域的辐射检查、去污需求，以及维修期间和重新投运前定期检查的需求。

对涉及临时改变包容或屏蔽的维修，包括任何临时或短暂的过程，应事先

进行全面的分析，确保污染和剂量是可接受的。分析应明确相应的补充措施和监测要求。

维修期间，应尽量确保正在维修的设备与正在运行的工厂或其他有放射性物质的设施之间的隔离。

应尽量在设备排空并清洗去污后再进行人工维修，以达到去除放射性物质，减少辐射风险和污染风险的目的。

对于有高预期剂量或剂量风险的维修任务，应考虑采用区域模拟、电子模型或其他培训方法，使操作人员熟悉任务，制定辅助措施并优化工作技能，例如，可开发远距离操作工具。

7.2.5.2 校准

仪器设备校准程序 and 标准应覆盖后处理设施中所使用的设备以及后处理设施支持机构所使用的设备，例如分析实验室、辐射防护设备供应商和试剂供应商。营运单位应确认外部供应的或本设施的设备均定期校准，并应遵循国家相应标准。

校准和定期检测的频率对于安全而言至关重要，因此应在经安全分析的运行限值和条件中规定安全相关重要建（构）筑物、系统和部件（包括分析实验室中的仪表）的校准和定期试验频率。

7.2.6 放射性废物管理

营运单位应制定放射性废物管理策略，并编制放射性废物管理大纲。运行期间根据需处理的废物类型以及国家废物管理政策严格执行。

营运单位应明确后处理设施放射性废物最小化管理措施并制定管理目标值。将废物最小化管理措施作为后处理设施管理体系的一部分，应严格实施、定期审查并及时更新放射性废物管理大纲。应对相关人员开展废物管理分类、废物管理计划及相关程序要求的培训。

运行期间产生的放射性废物均应根据国家分类管理标准以及废物管理大纲进行妥善处理和安全贮存。营运单位应根据贮存设施的贮存能力和国家规定的贮存年限等，制定处置计划、明确处置去向并及时送交处置。所有放射性废物均应给予明确的特性表征，且应满足放射性废物处置设施的接收要求。放射性废物特性表征信息应安全保存且可追溯。对于特殊放射性废物，在无明确处置去向的情况下，应尽可能全面表征废物特性，并保证贮存安全。

运行期间应按废物最小化原则避免放射性废物的产生，例如通过减少二次

废物的产生、重复使用、再循环和有效去污等手段。应监测放射性废物的产生趋势，并保证所采用的废物最小化措施的有效性。应尽可能地减少进入到热室、手套箱中的设备、工具和耗材的数量。

尽量减少放射性废物的场内累积量。所有积累的废物应贮存在与后处理设施自身相匹配的专设贮存设施中。

后处理设施产生的所有废物应表征其物理、化学和放射性属性，使其随后的管理最优化，即适当的预处理、处理、整备以及选择或确定暂存或处置路线。在可能范围内，废物管理应确保所有废物满足现有暂存或处置路线的规范。应特别关注隔离含易裂变物质废物，确保此类废物的临界安全。

应依据来源将固体废物分类，其来源可指示其潜在放射性特征（包括核素组成及组分等）并能为确定废物的处理、贮存和处置路线提供信息。采用放射性特征结合快速就地辐射测量（例如总 β/γ 活度）作为废物分类的准则，以快速将废物分类，并选择合适的废物处理技术。在废物初步处理和随后的详细表征以及在专设废物操作区进行废物分类（如有必要）时，应考虑相关的防护与安全的最优化。应尽可能使用远距离操作或自动设备。

设施去污应尽量采用减少一次废物和二次废物的产生、并便于后续废物处理的方法，例如去污剂的处理与正常运行产生的废物处理路线相兼容。

为降低对环境的影响，并最大限度地回收材料，应在合理可达到的水平上尽量去污。应在经济可行范围内尽量彻底对 α 污染的废物进行去污，以尽量减少长寿命核素进入环境中，降低对环境的影响。

应根据国家相关法规制定放射性废物清洗去污程序，后处理设施运行期间应尽量使用已制定的清洗去污程序，以减少放射性废物产生量和处置量，降低处置设施的规模。

应对放射性废物信息进行收集、记录、保存，建立放射性废物管理信息系统。

7.2.7 流出物管理

后处理设施通常有多个排放点，对应单独或总的排放许可限值。营运单位应建立适当的管理体系，管理和控制每个排放点的排放以及总的排放。

后处理设施应在排放前对流出物进行检测，若不能在排放前进行检测，则应在排放点进行实时监测。当使用取样装置和程序时，结果应具有代表性和及时性。

营运单位应确保所有排放在许可限值内并尽量低。在预期不能满足上述目标时，相关人员应出于安全考虑，有权将工艺和设施停下来。

营运单位应制定一套运行控制指标，这些指标应与最大上限相关，例如排放环境的月目标控制值，以协助监测和审查排放最小化实施计划。

应使用流出物排放数据和监管机构认可的标准模型，定期估算对公众的影响。还需用环境监测验证排放对公众和周边区域的影响，识别趋势并评估总的公众照射。

营运单位应对流出物排放进行监测和报告，并确保满足所有许可限值。在开展定期安全评价时，应全面检查以前的排放记录，以确认当前的工作程序和运行实践满足防护和安全最优化的要求。另外，应关注流出物处理或减少流出物排放的相关工艺及技术的发展情况，以确定是否有改进的可能。

7.2.7.1 气态流出物排放

放射性气态流出物应通过适当的废气处理系统处理后，再进行排放。

过滤器更换时，应核实更换程序，以确保过滤器正确安装。必要时，可测试新更换的过滤器以确保其（至少）满足安全分析中采用或假定的过滤效率。

应按确定的运行限值和条件，对气态流出物排放量进行严格控制。

7.2.7.2 液态流出物排放

所有从后处理设施内收集的、必须排放入环境的液体，例如建筑物附近的地表水、地下水和工艺流出物，应根据许可进行评估和管理。

应合理运行液态流出物系统，包括液体收集和排放管道，临时贮存等，并保持其有效性。

放射性液体排放许可限值通常是特定核素的年度排放量，必要时还包括流出物的物理和化学特性。根据实际情况可进一步规定排放条件以尽量减少环境影响。应执行运行程序以满足排放许可限值的要求。

放射性液体排放应以批式排放的方式运行，在排放前需要取样和分析。

7.2.8 核材料衡算和盘存

营运单位应开展核材料实物盘存和核材料衡算。乏燃料后处理设施每次开停车均要进行实物盘存。核材料记录与核材料衡算报告应完整、及时、准确、规范，数据应具有可追溯性。记录系统应及时反映后处理设施中核材料的动态分布。在核材料衡算评价中，所有进入核材料衡算的数据应是实测值，所用测量系统的误差应是已知的，所有数据具有可追溯性，并具有可靠的技术性文件；

测量系统误差传递总标准偏差应符合法规要求。

7.2.9 应急准备与响应

后处理设施的规模、复杂性和潜在危害的水平使得应急准备（在意外的放射性释放事件中，保护工作人员、公众和环境）和持续更新的应急预案尤其重要。营运单位在首次装（投）料前应制定应急预案，至少包括以下基本内容：应急计划区（如有），应急状态分级及应急行动水平，应急组织与职责，应急设施与设备，应急环境监测，应急防护措施等。

在首次装（投）料前，营运单位应完成应急准备工作，并进行装（投）料前场内综合应急演习。

在整个设施运行阶段，应急准备应做到常备不懈；应急状态下需要使用的设施、设备和通信系统等必须妥善维护，处于随时可用状态。应定期进行应急培训、应急演习和对应急预案进行复审和修订。

在设施进入应急状态时，应有效实施应急响应，按规定向国务院核工业主管部门、核安全监督管理部门和省、自治区、直辖市人民政府指定的部门报告事故情况并与场外核应急组织协调配合，以保障工作人员、公众和环境的安全。

7.3 安全停车

应分析并定义后处理设施的安全停车状态（化学物质、易裂变物质不转移），确定安全停车程序。应根据危害或风险（包括自然或人为的内部、外部事件）的性质和紧迫性，在需要时执行这些程序。同样应分析和确定安全停车后的恢复程序，并根据需要及时执行，例如控制收率或减少萃取设备中易裂变材料滞留量等。

为了保持设施处于安全状态，下列系统应连续运行，或失效时可在规定时间内恢复：

- (a) 高放废液和高放固体废物的衰变热导出系统；
- (b) 确保放射性物质包容的动态包容（通排风）系统；
- (c) 用来预防爆炸危险的氢气稀释系统；
- (d) 安全级仪表、控制系统及公用系统等。

8 退役准备

后处理设施应明确退役策略，首选立即拆除。

在选址、设计阶段应根据国家有关核能发展、放射性废物管理有关政策选择初始退役策略，并开展具有支持性的安全评估。

后处理设施应明确便于退役设计特征和运行管理措施，包括但不限于以下内容：

- (a) 材料的选择，以便尽可能将放射性废物量减至最小，并便于去污；
- (b) 可能必要的接近能力和操作手段；
- (c) 识别对设施设计可行的变更以便于退役或加快退役；
- (d) 处理和贮存运行中所产生的放射性废物所需的设施以及关于后处理设施退役将产生的放射性废物的管理；
- (e) 全面记录设施寿期内所有阶段的所有重要活动和事件，记录应以安全和便于检索的方式保存。

后处理设施应制订退役计划：

- (a) 应在后处理设施设计阶段编制初步退役计划；
- (b) 应在后处理设施设计及运行阶段定期更新退役计划；
- (c) 应在后处理设施永久停闭前制定最终退役计划；
- (d) 后处理设施制订的退役计划应是现实的，并可安全执行，必要的更新确保当需要时可以获取足够的资源；
- (e) 预期的放射性废物与现有的（或计划的）暂存能力和处置路线相适应，并考虑其运输和处理。

当后处理设施永久关闭或者退役显著延迟时，如必要需修订退役策略、退役计划和安全评估。在计划或非计划关闭到退役启动之前的一段时间内，应采取安全措施将后处理设施保持在安全稳定的状态，包括预防临界、污染扩散和火灾的措施，并保持适当的辐射监测。在关闭状态下应考虑修订设施安全评估的必要性。应考虑保持运行人员的知识和经验。在后处理设施进入长期关闭状态前，应将危险和腐蚀性物质从工艺设备中移至安全贮存场所。

退役阶段的安全分析报告应包括应急预案的内容，说明在退役期间可能出现的应急状态及其对策，规定营运单位的组织机构和应急设施。在退役期间一旦发生事故，应有效实施应急响应，以保证工作人员、公众和环境的安全。