

核安全导则 HAD 401/15-2021

核设施退役安全评价

国家核安全局 2022 年 1 月 5 日批准发布

国家核安全局

2022年1月

核设施退役安全评价

(2022年1月5日国家核安全局批准发布)

本导则自2022年1月5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 目标 and 责任.....	1
2.1 目标.....	1
2.2 责任.....	1
3 安全评价的要求.....	1
3.1 总体要求.....	1
3.2 安全评价中应考虑的因素.....	3
3.3 危险的辨识与分析.....	4
3.4 纵深防御.....	4
3.5 安全功能评价.....	5
3.6 最优化分析.....	5
3.7 长期安全评价.....	6
3.8 工程分析.....	6
3.9 废物管理评价.....	7
3.10 不确定性分析.....	7
3.11 质量保证.....	8
4 安全评价的工作流程和内容.....	9
4.1 概述.....	9
4.2 核设施与退役活动描述.....	10
4.3 危险和初始事件辨识及筛选.....	11
4.4 情景序列识别.....	13
4.5 危险分析.....	13
4.6 对结果的评估并确定安全措施.....	14
4.7 退役安全分析报告.....	15
附录 核设施退役危险和初始事件清单示例.....	17

1 引言

1.1 目的

本导则的目的是为核设施营运单位开展核设施退役安全评价工作提供指导，以支撑退役策略选择、退役方案设计、退役计划制定和退役活动的开展。

1.2 范围

本导则适用于核动力厂及装置、其他反应堆、核燃料循环设施及放射性废物贮存、处理设施退役过程的安全评价。

本导则中，核设施退役以所有乏燃料元件及易裂变材料全部移出设施、运行废液处理完毕作为退役的起点。

核设施中不涉及放射性的场所（如核岛外的办公楼等）的拆除工作，不在本导则的指导范围内。

2 目标和责任

2.1 目标

开展核设施退役安全评价的目的是辨识退役活动中可能存在的有害因素，分析其危害并预测可能导致的后果，提出合理可行的安全应对措施，提出消除危险及有害因素或减弱其后果的严重程度的技术或管理措施及建议，确保核设施退役活动导致对工作人员和公众的辐射照射不会超过国家有关法规和标准的规定，并保持在可合理达到的尽量低水平，从而实现保护人类和环境安全的最终目标。

2.2 责任

核设施营运单位应对计划实施的退役活动组织开展安全评价，并对安全评价的结果负责。

3 安全评价的要求

3.1 总体要求

3.1.1 应对核设施退役活动中与安全相关的内容开展系统地评价，包括：（1）

在开展安全评价前，收集安全评价所需的必要信息，为开展安全评价做好准备；
 (2) 确定可能存在的辐射危险和一般工业危险；(3) 评价与可能的辐射危险有关的场址及核设施特征；(4) 确定和评价退役所需的安全功能；(5) 评价辐射防护措施和废物管理方案；(6) 对退役工程技术方案进行评价，确定是否达到了与设施或退役活动有关的安全设计要求；(7) 对核设施退役后的长期安全进行评价。
 退役安全评价的关键要素见图 1。

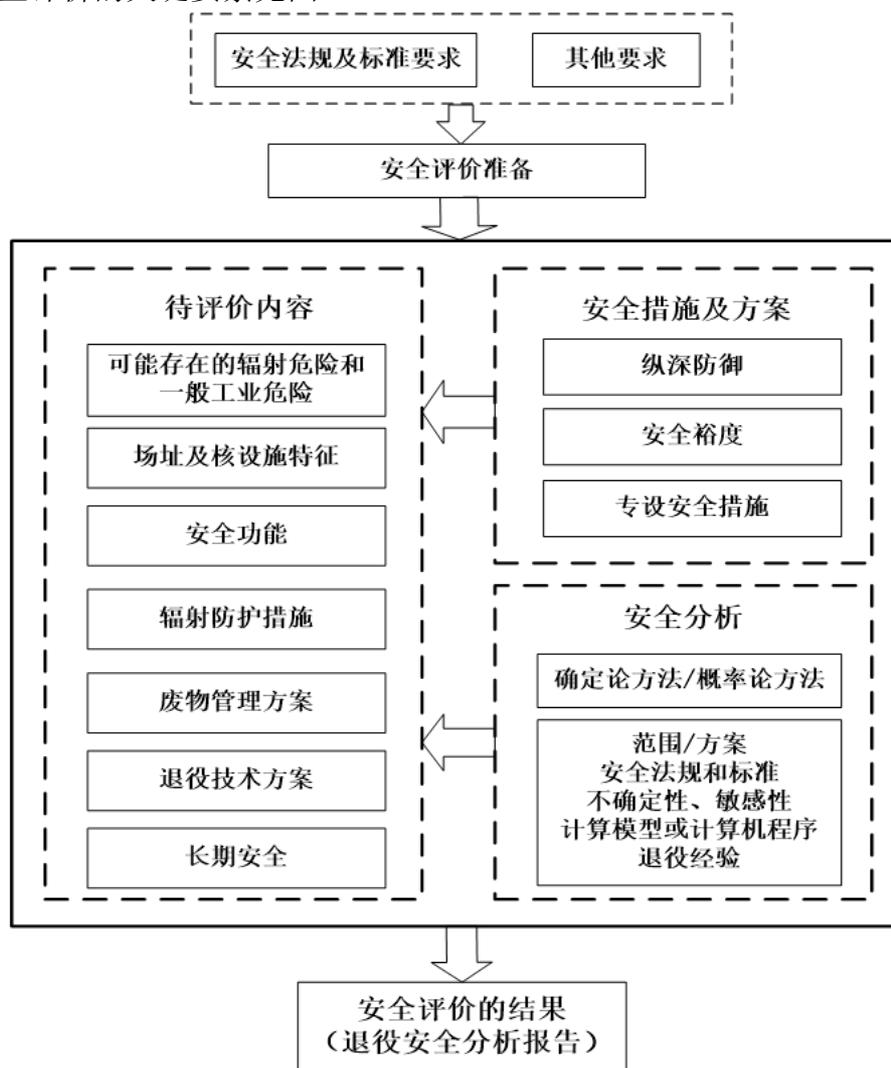


图 1 核设施退役安全评价中的要素及要求

3.1.2 核设施退役的安全评价必须是全面的，应满足所有退役有关的安全要求。安全评价的范围、复杂程度应与核设施退役潜在危险及可能导致后果的严重程度相匹配。

3.1.3 核设施运行阶段的记录与信息，是支持退役安全评价工作的重要资料，营运单位应确保这些资料的准确与完整。在确定核设施终止运行时，即可开始核设施退役的安全评价工作。

3.2 安全评价中应考虑的因素

3.2.1 对核设施退役进行安全评价时，应考虑以下因素：

(1) 安全评价的范围，是整个退役工程还是退役工程的某个阶段，是整个核设施还是核设施的一部分，是多堆场址内的其中一个核设施退役还是全部核设施退役；

(2) 核设施的类型、规模及复杂程度；

(3) 退役开始时刻核设施的物理特性，特别是与安全相关建（构）筑物、系统、设备的完整性、可用性及老化程度；

(4) 退役活动的复杂程度；

(5) 不确定因素，包括：核设施相关信息（例如：设计图纸、施工资料、竣工资料、运行日志、维修及改造记录等）的准确性和可用性；

(6) 源项特征，包括：放射性来源（例如：裂变产物核素或活化产物核素等）、核素种类及活度浓度或表面污染水平，核素的半衰期，毒性组别以及物理化学性质（例如：固态、液态、气态、放射性、释热性或易燃性等）；

(7) 可能存在的危险及其造成的潜在后果，需要考虑场址的自然特征，例如：地质特征、水文特征、来自附近其他设施的影响等。初始事件及潜在后果，例如：人因事件、火灾、洪水、重物跌落、建筑物倒塌或坍塌、有毒有害化学品、极端温度等；

(8) 特殊材料的特征，例如：铍、铬、铅、石墨、石棉、树脂或多氯联苯等特殊材料的分布、盘存量、活化或污染特征；

(9) 安全相关系统的特性与可靠性，如专设安全系统、控制系统等，这些系统能够预防事故发生或减轻事故造成的后果；

(10) 开展安全评价采用的安全法规和标准；

(11) 核设施退役终态，即场址是达到无限制开放还是有限制使用；

(12) 其他类似核设施退役安全评价结果的可参考性；

(13) 退役工程对附近其他仍处于运行状态的核设施可能造成的不良影响及范围。

3.2.2 如果采取分阶段实施退役，由于各阶段退役活动内容、潜在危险都不相同，则应考虑开展阶段性安全评价。这种情况下，安全评价中更应按照 3.2.1 节的内容考虑安全评价的相关因素，并保证安全评价与退役活动的潜在危险与风险相适应。

3.3 危险的辨识与分析

3.3.1 应根据核设施放射性源项等信息，辨识和分析退役活动可能对工作人员、公众、环境造成不良后果的危险及初始事件。

核设施退役过程中，一般工业危险（即非放射性危险）与辐射危险同样重要。退役过程中，一般工业危险通常会导致辐射风险的增加，例如，火灾导致放射性废物包装体失效而引发放射性物质泄漏和扩散。因此，进行核设施退役安全评价时，不仅要分析辐射危险，还应分析那些可能造成辐射后果明显增加的一般工业危险。

核设施退役危险辨识与分析范围应包括：

- （1）辐射危险，包括：外照射、内照射（吸入、食入、伤口侵入等）；
- （2）一般工业危险，包括：重物跌落、火灾、粉尘及气溶胶吸入等；
- （3）有毒有害及其他类型危险物，包括：铍、铬、铅、石棉、多氯联苯、油漆、有毒化学试剂、易燃易爆物及易窒息物等。

3.3.2 应考虑包括退役活动本身和核设施营运单位在退役活动过程中可能引发的内部事件、外部事件，包括：场外事故（如可燃气体引起火灾、爆炸、附近工厂有毒有害气体释放）、极端气候条件（如飓风、暴风雪、暴雨和极端温度等）以及自然灾害（洪水、海啸和地震）等。

3.3.3 进行安全评价时，不仅要评价这些危险和事件的单个效应，还应评价叠加效应。例如，火灾导致放射性废物包装体失效而引发辐射安全事故。

3.3.4 应对核设施退役可预见的初始事件进行安全评价。必要时，应提出使初始事件的风险及后果严重程度最小化的安全措施。

3.3.5 应对辨识出的危险和初始事件的后果进行量化分析及筛选，从而得到重要危险及初始事件，并开展安全评价。

3.4 纵深防御

3.4.1 核设施退役的纵深防御是指：

- （1）确定合适的限值、控制和条件，防止在正常退役活动中发生事故；
- （2）即使发生事故时，也应确保具备可靠的缓解措施用于最大程度的减弱事故的严重程度；
- （3）设计适当的保护措施，确保在发生任何事故的情况下都不会对工作人员、公众和环境造成不可接受的伤害。

3.4.2 安全评价应说明核设施已经具备了必要的预防和缓解措施，并证明依

据退役相关的安全要求这些措施是合适且充分的。

3.4.3 核设施退役阶段采用的安全措施通常与运行阶段不同，在退役阶段一般不采取永久的专设安全系统，而是采取临时措施保证安全功能的完整性。

3.5 安全功能评价

3.5.1 作为安全评价的一部分，应明确正常退役活动和事故工况下的安全功能及其对应的安全系统，并说明它们的适用性和安全裕度，确定其安全功能能够满足退役活动的要求，如防火、防触电等，还应评价安全系统的安全功能对附近核设施可能造成的影响。

3.5.2 在核设施拆除过程中可能涉及建（构）筑物拆毁和安全系统的移除，如放射性废物包装容器、屏蔽体、排风系统、冷却系统等。如果这些安全系统在退役阶段仍需使用，则应证明将采取适当的方式进行维护。否则，必须说明这些安全功能可以以其他的方式代替，如密封气帐、可移动式临时排风装置、临时屏蔽、火灾报警系统、电气系统及行政管理制度等。

3.5.3 如果采取延缓拆除的退役策略，应优先考虑采取非能动安全系统及方法满足安全功能，尽量减少人为干预和主动安全措施，最大程度的缓解事故后果。应对包括延缓拆除阶段的全部退役周期内的安全功能（如包容功能）的适用性、充分性和可靠性进行评价。

3.5.4 如果采取延缓拆除的退役策略，核设施在延缓拆除期内必须满足相关安全要求，并确保在未来能够安全退役。应考虑核设施老化等各种不利因素，每5年更新安全评价的内容，并进行审查。

3.6 最优化分析

3.6.1 应评价退役策略、方案和活动（包括正常和事故条件下的退役活动）可以使工作人员、公众和环境受到的辐射剂量满足最优化原则。安全评价应确定对危险（包括放射性危险和一般工业危险）所采取的预防和缓解措施能够提供最优化的安全保障。

3.6.2 防护措施的优化应以预测的剂量及风险为依据，应合理可实现并满足相关法规或标准的要求。如果在退役过程中不得不开展临时性高辐射或高风险的退役活动时，应描述不同方案的优劣，说明开展高剂量或高风险活动的理由，并根据剂量值和风险等级申请不同级别的许可。

3.7 长期安全评价

3.7.1 核设施退役的长期安全是指退役活动完成后能够使场址残留的放射性物质导致对公众的持续照射剂量满足法规或标准要求。

3.7.2 如果核设施的退役终态是无限制开放（或有限制使用），安全评价应论述退役完成后，场址残留的放射性对公众的照射剂量不会超过法规或标准的限值。

3.7.3 安全评价应说明在完成核设施退役后，场址不会出现导致公众照射剂量超出法规或标准限值或者给后代造成过重负担的情况。对土壤和地下水存在污染的核设施，应计算对公众的持续照射剂量，确定退役完成时刻后 1000 年内场址残留放射性对公众持续照射剂量的最大值。

3.8 工程分析

3.8.1 工程分析的目的是利用合适的工程标准或规范对核设施中与安全功能相关的系统进行评价，确定现有的安全系统满足并能够实现必要的安全功能，且能够达到降低辐射照射的要求。

3.8.2 工程分析中采取的标准或规范应与安全功能的重要性匹配。

3.8.3 为确定核设施退役潜在的危险，确保安全和事故缓解措施处于适当的水平，应明确：

（1）核设施停闭之后的物理及辐射状态，以及核设施及其安全系统的老化程度；

（2）所有现存的专设安全系统或替代措施的可靠性能够满足退役的安全功能要求，并与现有的安全法规或标准相匹配；

（3）如果现有的专设安全系统无法满足退役活动的需求，应建立新的安全系统以满足退役活动的需要。

3.8.4 安全评价应确定需要新设计的安全系统的安全功能，并确认这些安全功能能够满足相关的需要。

3.8.5 安全评价的结果应证明：

（1）现有的专设安全系统能够继续执行相应的安全功能，且已考虑了这些系统的老化和功能退化；

（2）在退役期间所需的所有安全系统都是按照工程规范和标准进行设计的。同时，还应说明专设安全系统将会按照与安全功能相匹配的程度进行试验、检查和维护。对于已经存在的专设安全系统，安全评价应充分借鉴该系统在核设施建造及运行期间已完成的安全评价的经验和结果；

(3) 核设施及其安全系统具备长期完整性，能够继续执行所有必要的安全功能，能够满足所有退役活动的需要。

3.9 废物管理评价

3.9.1 废物管理包括放射性和非放射性废物的分类、预处理、处理、整备、临时储存、废物送储等活动以及相应信息的管理，是核设施退役活动的重要内容之一。

3.9.2 废物管理的安全评价是评价废物的预处理、处理、整备及临时储存方案。

3.9.3 废物管理的安全评价应说明以下内容，并确定符合废物管理法规或标准的要求：

- (1) 放射性废物的特性鉴定的内容和所含放射性核素的测量方案；
- (2) 放射性废物的分类和清洁解控标准；
- (3) 放射性三废处理设施的可用性及处理能力；
- (4) 退役过程产生的所有废物的去向、数量，信息记录及保存方法；
- (5) 废物临时储存设施的可用性及库容等信息。

3.9.4 应评价退役方案是否考虑放射性废物最小化，采取了分类、拆解、去污、减容等技术及管理措施，并进行了优化。还应确定废物管理活动满足废物处理、储存、运输和处置的验收准则。

3.10 不确定性分析

3.10.1 在安全评价时必须开展不确定性分析。

3.10.2 在进行安全评价时，通常需要对核设施相关数据的有效性、事件分析的条件等进行假设。必须证明所有的假设条件都是合理的，能够保证安全评价结果的正确性和可靠性。

3.10.3 安全评价必须考虑所有可能存在的 uncertain 因素，包括：核设施历史信息的不准确和不完整、退役活动描述的不准确、计算模型和程序的不确定性、废物活度浓度测量误差以及源项调查活动的不确定性等。

3.10.4 在实施退役过程中，核设施营运单位可能需要根据现场的实际情况修改退役方案。当采取分阶段实施退役时，下一阶段的退役方案可能需要根据前一阶段退役实施情况进行修改，或者根据其他类似核设施退役的经验反馈进行修改。

3.11 质量保证

3.11.1 核设施营运单位负责建立质量保证体系，以便实施安全评价，审核及内部批准退役安全分析报告。质量保证体系的复杂程度应与退役活动的危险及风险等级相匹配。

3.11.2 核设施营运单位应建立专门的组织机构并制定管理体系，并评价该管理体系的准备和配置满足核设施退役工程需要。除了对安全评价结果的管理责任之外，该组织机构的职责还应包括：

- (1) 所有参与安全评价人员的职责分工；
- (2) 所有参与安全评价的承包商的管理；
- (3) 所有参与安全评价的专业技术人员和承包商专业知识与技能的培训；
- (4) 制定有关编写、审核及内部批准退役安全分析报告，以及今后修订安全分析报告的管理程序；
- (5) 所有与安全评价相关资料的管理；
- (6) 负责与安全评价相关监管机构及其他部门的接口；
- (7) 退役安全评价工作全过程的质量管理；
- (8) 与其他设施或退役项目的接口。

3.11.3 营运单位应对退役的安全评价实施有效的管理，确保安全评价满足质保要求、并考虑了 3.2 中所要求的全部因素。应确保以下内容的实现：

- (1) 安全评价的目标和范围已经确定；
- (2) 开展安全评价的组织机构和管理制度已经建立；
- (3) 退役策略、评价方法和安全评价的实施规定已经完成；
- (4) 相关的输入、假设条件及支持信息已经收集确定；
- (5) 所有潜在危险已辨识，正常活动和事故工况下的事件序列已经评价；
- (6) 确定用于安全评价的计算机软件已得到验证和认可；
- (7) 对安全评价及其输入、方法、模型的评价已经完成。在安全评价中已经考虑了所有结果和建议；
- (8) 在考虑相关因素的情况下适当更新安全评价的内容，包括：①随着退役活动的开展，核设施状态变化情况；②退役计划变更情况；③新的退役技术发展及应用情况；④新的监管要求；⑤根据取样和环境监测数据更新放射性源项；⑥工作人员辐射照射测量结果；⑦退役活动期间放射性物质的释放量；

(9) 确认参与安全评价的人员具有相应的技术资格和足够的工作经验，分工职责明确。

4 安全评价的工作流程和内容

4.1 概述

4.1.1 应考虑核设施以及退役活动的危险及可能导致的后果，系统地开展安全评价。核设施退役安全评价的总体流程见图 2。图 2 中描述的步骤是相互依赖的，应以迭代的方式执行。

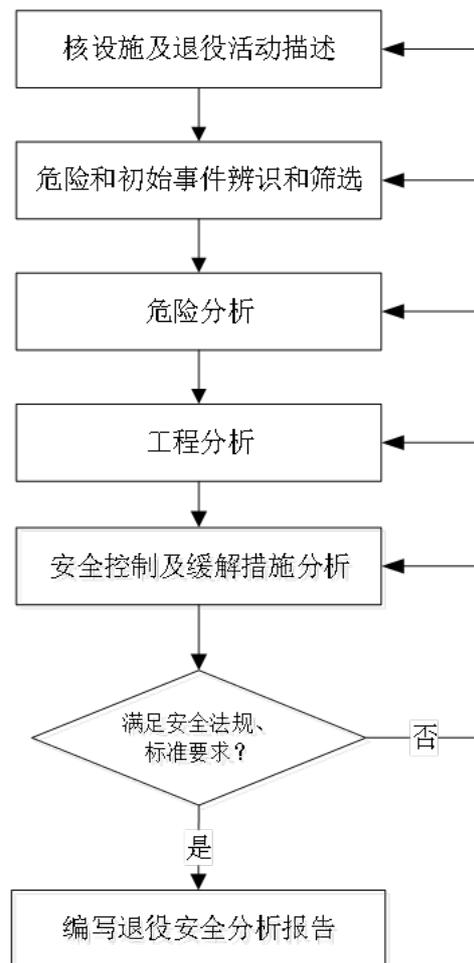


图 2 核设施退役安全评价的总体流程

4.1.2 核设施退役安全评价应按图 2 的流程进行。首先，应明确安全评价的范围和目标等先决条件；其次，对核设施以及退役活动进行详细描述，用于分析确定核设施现有的危险和退役过程中将产生的新的危险；然后对这些危险进行辨识，再就危险对工作人员、公众及环境产生的后果进行评价，同时对安全系统进

行工程分析。退役活动产生的辐射剂量以及安全系统的功能，应与相关法规或标准进行比较，以确定其满足所有安全要求。核设施营运单位负责编写安全分析报告，并经过核设施营运单位内部独立审核，对所使用的数据、假设条件、评价结果进行分析，最终得出评价结论及建议。

4.1.3 如果安全评价的结果表明无法满足安全法规或标准的要求，则需要在考虑不确定性影响的基础上，对退役策略、退役活动以及控制、预防及缓解措施进行修改。

4.1.4 如果由于缺乏充足的信息和条件而必须采取分阶段退役的方案时，应在每个退役阶段都进行安全评价，并保证安全评价的范围和深度与所评价的退役活动相符。

4.2 核设施与退役活动描述

4.2.1 安全评价中对核设施的描述应包括以下内容，描述这些系统对退役有影响的信息：

- (1) 核设施，包括主要设施、主工艺系统、建（构）筑物；
- (2) 为退役服务的重要配套系统，如通风系统、辐射监测系统、去污设施、拆除及减容设施、废物暂存设施等；
- (3) 为退役服务的其他辅助系统，如火灾报警系统、供电系统、照明系统、给排水系统、供暖系统等；
- (4) 其他与退役安全相关的专设安全系统，如防火设施、防洪设施等；
- (5) 核设施运行历史，包括核设施在设计、建造、运行、改（扩）建等阶段对于退役的考虑，以及核设施运行期间发生的事件（事故）及其后果。另外，还应包括核设施的维修、设计变更及换料记录等信息；
- (6) 场址及环境，包括核设施所在场址的自然环境及社会环境信息；
- (7) 源项，包括开展源项调查的方法和调查结果，应说明核设施及场址内现存的关键放射性核素的种类及活度浓度（或污染水平）测量结果、场址剂量率分布等信息。

4.2.2 安全评价中对核设施退役活动的描述应依据退役方案中有关核设施、建（构）筑物、安全相关系统以及场址等内容进行，应包括以下信息：

- (1) 核设施及其相关的现有危险；
- (2) 将要开展的退役活动的详细信息，以便能够确定在正常情况和事故情况下开展的退役活动对工作人员、公众及环境可能造成的潜在危险；

- (3) 核设施内现有的以及今后将要增加的安全相关系统;
- (4) 与其他相邻核设施共用系统的相关信息;
- (5) 退役最终目标, 如果仅对某一退役阶段开展安全评价, 则应明确该阶段退役的目标;
- (6) 退役工程的进度计划安排, 说明重要里程碑事件和关键节点目标;
- (7) 计划采取的废物拆解(毁)、去污、压缩、减容、处理等技术方案, 并描述这些技术应用的范围、对象、关键设备及工艺流程等信息;
- (8) 退役过程的废物管理方案, 包括放射性废物及易燃、易爆、有毒废物等其他废物的管理, 并提供退役工程预计产生废物的数量;
- (9) 退役过程中计划采取的辐射防护方案、监测方案、实体保卫方案等。

4.2.3 应描述核设施的安全措施, 包括退役活动的控制管理程序、辐射防护方案、人员培训计划、应急预案以及实物保护等, 并在危险分析中加以考虑。

4.2.4 应明确说明核设施退役的最终状态是无限制开放还是有限制使用。若退役的终态为有限制使用, 还需说明退役结束后将对场址采取的监管措施。

4.3 危险和初始事件辨识及筛选

4.3.1 应依据设施描述和退役方案等辨识核设施现有的及退役活动中潜在危险和初始事件, 并分析它们随时间变化的情况。目的是确定可能导致职业照射和公众照射的正常退役活动及事故情况, 以及可能对环境产生不利影响的正常退役活动或事故情况。

4.3.2 危险和初始事件的辨识

4.3.2.1 退役过程的危险不仅包括放射性危险, 同时也包括一般工业危险。本导则中虽然重点关注的是放射性危险, 但也应按照国家要求对非放射性危险(一般工业危险)进行辨识(包括: 接触有毒有害化学试剂、吸入石棉、高空跌落及割伤砸伤等)。

4.3.2.2 一般而言, 在一般工业危险中应特别关注两类初始事件, 一是引起辐射风险增加的事件, 二是那些可能引发严重事故的事件。

4.3.2.3 放射性危险辨识的过程应确定核设施中存在放射性物质的所有地点, 例如暂存的放射性固体废物、表面污染的建(构)筑物、活化构件、排风过滤器以及放射源等。

4.3.2.4 应考虑退役过程中放射性废物的暂存, 应以废物的最大存量作为安全评价的依据。

4.3.2.5 应考虑可能导致危险的潜在的初始事件，包括内部和外部事件：

(1) 内部事件，包括火灾、爆炸、建（构）筑物倒（坍）塌、放射性物质泄漏或废液溢出、通风系统失效、重物跌落以及保护措施失效（如屏蔽或个人防护用具故障）等；以及人因事件，包括工作人员误操作、违规操作或因指挥错误导致事故等。

(2) 外部事件，包括极端气候条件灾害（如飓风、暴风雪、暴雨和极端温度）和自然灾害（如洪水、海啸、地震）等。

在退役安全评价中，人因事件是最重要的方面。考虑到现有和潜在的危险以及退役活动的复杂性，有时还应评价低概率事件。附录给出了核设施退役危险和初始事件清单示例，供核设施营运单位进行安全评价时参考。

4.3.2.6 应使用适当的方法进行初始事件的辨识和分析，通常采用的方法有危险和可操作性分析法（HAZOP）和建立事故谱。还应考虑其他信息，如事件清单、核设施放射性分布图、放射性废物清单以及其他核设施的经验反馈等。

4.3.2.7 应对识别的危险进行定性或定量分析并进行筛选。对于可能不会导致工作人员、公众和环境后果的，或安全评价范围内不会出现的危险可从后续的危险分析中筛选出来。

4.3.3 危险的筛选

4.3.3.1 退役期间的潜在危险应在不考虑采取任何预防或缓解措施的情况下予以量化，分析通过确定的路径导致的后果。对于可能导致严重后果的危险应进一步分析。

4.3.3.2 应筛选超出安全评价的范围或不会导致超出有关安全法规或标准的后果的危险，减少需要评价的危险数量。对于结构较简单的核设施，或者在退役活动比较简单的阶段，可能只有很少的危险需要进行安全评价。

4.3.3.3 危险的筛选过程不仅要考虑对核设施内工作人员的照射途径，还应考虑到对公众的照射途径。

4.3.3.4 在筛选过程中，应考虑所有潜在的照射途径，通过这些途径识别出可能对工作人员造成的危险，例如：

(1) 由于被污染的系统、建（构）筑物或其他放射性物质通过 γ 射线对人员造成外照射；

(2) 在进行分割、拆除、去污以及其他退役活动时，工作人员因吸入放射性气溶胶而造成内照射；

(3) 放射性物质通过伤口进入人体而造成内照射；

(4) 在发生如放射性废物包装体破损或发生火灾而导致放射性物质扩散到大气事故情况时，放射性物质向环境释放对公众的内外照射。

4.4 情景序列识别

4.4.1 经危险和初始事件辨识后得出情景序列列表，描述被筛选出的危险是正常操作中的预期事件还是由于事故导致的。

4.4.2 应将危险发生的概率与造成的后果相结合进行分析，并作为情景筛选的依据。

4.4.3 情景识别应考虑放射性废物暂存和处理管理，这些活动可能存在放射性物质释放和由于包装体屏蔽能力不足而引起意外照射，应评价正常情况和事故情况下放射性废物的分类、去污及减容等。

4.5 危险分析

4.5.1 在完成危险和初始事件的辨识及筛选后，应对危险进行定性或定量分析。危险分析应按以下目标进行：

(1) 估算正常退役活动导致工作人员和公众的辐射剂量；

(2) 估算事故工况时导致工作人员和公众的辐射剂量；

(3) 确定在退役期间将辐射剂量控制在法规或标准限值以下所需的限制条件、技术及管理措施；

(4) 确定必要的预防及缓解措施，保护工作人员和公众免受或减轻事故后果的影响；

(5) 对于一般工业危险，确定工作人员的保护措施满足相关标准和法规要求。

4.5.2 应通过确定论分析或概率论分析方法进行危险分析，两者以互补的方式应用，通常以确定论分析方法为主。在难以确定危险或初始事件发生的概率时，应采用确定论分析方法。对于事故情况，或者要求将某些特定情景下工作人员或公众的受照剂量结果与相应的安全法规或标准相比较时，也应采用确定论分析方法。

4.5.3 危险分析应确定以下内容：

(1) 辐射危险的来源，说明放射性源项（包括污染范围、空间分布、主要核素种类等）和估算放射性盘存量等；

(2) 可能导致危险发生的情景，包括发生概率、照射途径、支持计算危险发生概率所需的假设条件、以及在正常和事故条件下的后果等；

(3) 职业照射和公众照射剂量；

(4) 不确定性和危险分析的方法；

(5) 预防和缓解每种事故后果应采取的措施。

4.5.4 通过辨识和筛选过程筛除不重要的危险和情景，并选择适当的方式来分析重要的危险和情景序列。如果整个退役活动的辐射水平都较低，可以只对导致工作人员或公众受照剂量最大值的情景（称为边界情景）进行评价，其他情景可以不评价。因此，对于结构较简单且辐射水平较低的核设施，只需要评价很少的情景序列；相反，对于结构较复杂且辐射水平较高的核设施，或者预计导致工作人员或公众可能受到超剂量的异常照射时，应考虑更多的情景序列。

4.5.5 应通过采取合适的数学方法或软件，计算正常情况和事故工况下工作人员和公众的受照剂量，然后将计算结果与相应的安全限值比较，见图 3。

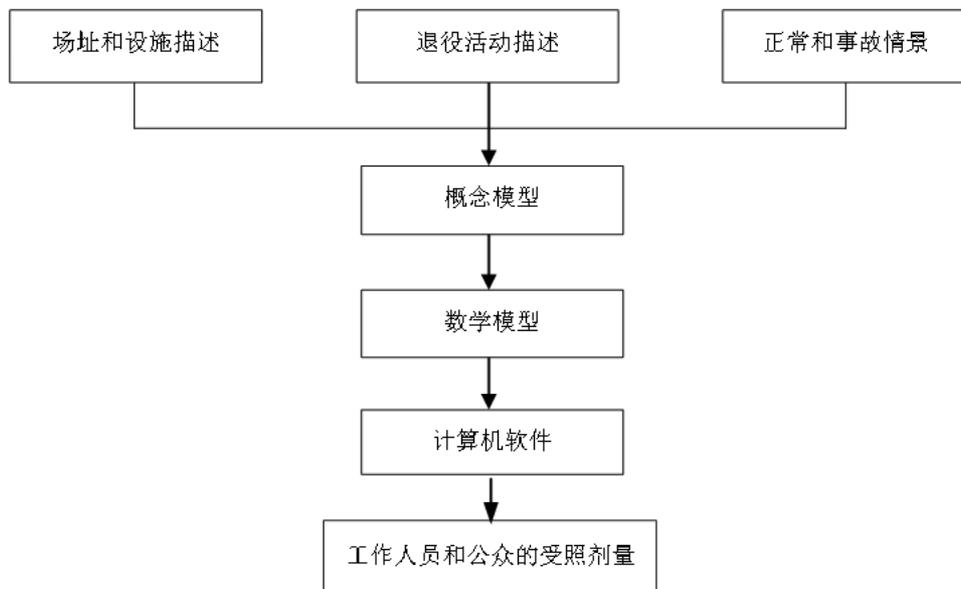


图 3 危险分析及评价过程

4.5.6 计算的复杂程度应与核设施和退役活动相关的危险等级相匹配。

4.5.7 应使用经过验证的数学模型或计算机程序。如果使用新的数学模型或计算机程序，应在使用前对其进行验证，证明其适用性和准确性。

4.6 对结果的评估并确定安全措施

4.6.1 安全评价的结果应证明退役活动满足法规或标准的安全要求。在正常退役活动和事故工况下，工作人员、公众受到的照射剂量均处于规定的剂量限值

之内。

4.6.2 安全评价的结果应表明，在退役方案中已经制定了与事故发生概率及可能造成后果严重程度相符的安全措施。这些安全措施包括：

(1) 工程技术措施：指退役配套条件的配置，例如，设置额外的屏蔽措施、安装新的过滤器、搭建临时气帐、配备防护装备、采取气溶胶产生量较少的切割和拆除技术、安装火灾报警和消防系统等；

(2) 管理措施：指为处理特定退役活动采取的行政管理措施，包括制定操作规程、辐射场所分区管理、工作人员专业技术或技能培训等。

4.6.3 对应急方案的有效性进行分析，说明当发生事故后，采取的应急措施能够有效缓解事故的后果。

4.6.4 如果安全评价的结果表明某个退役活动导致的工作人员或公众受照剂量超过相关安全法规或标准的要求，则应对退役方案进行修改。安全评价的结果将用于提出对现有退役策略、退役活动、工程技术措施、预防及缓解措施的修改建议，并增加新的安全措施，以确保所有的退役活动都满足安全法规或标准的要求。

4.7 退役安全分析报告

4.7.1 退役安全评价的最终成果是退役安全分析报告，也是法律规定的核设施退役许可文件之一。退役安全分析报告中应明确在退役各阶段对工作人员、公众和环境可能存在的危险及可能造成的后果，以及为确保退役活动安全开展而采取的预防和控制措施。应明确在正常和事故情况下，工作人员和公众所受的剂量不会超过安全限值。

4.7.2 核设施退役安全分析报告应与退役计划相对应，至少应包括以下信息：

(1) 安全评价的范围，包括核设施、系统、场址的边界，与相邻设施的接口，放射性废物管理的接口，与退役方案的关系等；

(2) 安全评价的目标，即证明退役活动符合相应的安全要求；

(3) 必须满足的安全法规或标准要求，例如：工作人员职业照射和公众照射的剂量限值；风险水平；安全相关系统的运行操作限值和运行操作条件；废物分类及剂量限值；场址无限制开放和有限制使用的剂量限值等；

(4) 开展安全评价的方法（包括：确定论方法、概率论方法、保守性或真实性假设等），这些方法应基于被评价危险的性质，还应说明要采取的假设条件、数据的可用性及类型，以及用于处理各种不确定性因素的方法；

(5) 相关数据的可用性，包括核设施运行经验，退役前的准备活动，以往开展的安全评价和经验反馈的结果等；

(6) 退役活动安排，如果采取分阶段实施退役，应描述各阶段划分情况及退役活动；

(7) 退役各阶段的边界，包括有关物理和放射性终态目标的具体信息；

(8) 退役的终态是无限制开放还是有限制开放；

(9) 退役工程的配套措施，包括场址的实体保卫措施等。

4.7.3 完成安全评价后，核设施营运单位应依照相关法律法规要求公开退役项目的相关信息。

附录 核设施退役危险和初始事件清单示例

本附录提供了核设施在退役过程中可能存在的各种危险及初始事件，分为内部事件、外部事件和其他初始事件。内部事件包括辐射危险和一般工业危险；外部事件包括地震、极端气候条件等；其他初始事件包括屏蔽体失效等。核设施退役危险和初始事件清单示例详见附表 1。

附表 1 核设施退役危险和初始事件清单

危险和初始事件	与正常退役活动有关	与事故工况有关
内部事件		
一、辐射危险		
1.放射性污染物散落		
(1) 污染物容器完整性被破坏，包容失效		
(2) 包容物或屏障拆除		
(3) 放射性污染物或包装体跌落		
(4) 表面污染或活化的建（构）筑物清理		
2.外照射		
(1) 活化或污染物项		
(2) 放射源直接照射		
3.内照射		
(1) 吸入放射性气溶胶		
(2) 放射性物质通过伤口进入人体		
4.污染、腐蚀等		
(1) α 污染物		
(2) 气态和液态流出物		
二、一般工业危险		
1.火灾		
(1) 使用热切割		
(2) 去污过程（如化学去污、机械去污、电化学去污和混合方法去污）		

危险和初始事件	与正常退役活动有关	与事故工况有关
(3) 易燃化学品和废物的堆积		
(4) 使用可燃气体或液体		
2.爆炸		
(1) 使用易燃易爆化学试剂去污		
(2) 产生高浓度粉尘，如石墨、锆		
(3) 辐照分解物		
(4) 使用压缩气体，如氢气		
(5) 使用易爆物质		
3.液体外泄		
(1) 放射性废液储存容器泄漏		
(2) 放射性废液输运管道渗漏或泄漏		
4.有毒有害物质		
(1) 产生气溶胶，如石棉		
(2) 接触含铅的涂料和油漆		
(3) 接触铍和其他有害金属		
(4) 使用多氯联苯		
(5) 机油、润滑油		
(6) 使用杀虫剂或农药		
(7) 生物危害		
5.电气危险		
(1) 意外断电		
(2) 高压触电		
(3) 非电离辐射，如激光		
6.物理危险		
(1) 重物高空坠落		
(2) 与安全相关的系统、部件高空坠落		
(3) 放射性废物包装体坠落		
(4) 构筑物坍塌		
(5) 拆毁活动		

危险和初始事件	与正常退役活动有关	与事故工况有关
(6) 高处作业		
(7) 使用低温工艺，如干冰去污		
三、人因事件		
1.工作人员误操作		
2.人员误进高放射性区域		
3.工作人员错误理解退役方案		
4.承包商或施工方的不正当行为		
外部事件		
1.洪水		
2.海啸		
3.地震		
4.极端气候条件，如飓风、暴风雪、暴雨等		
5.工业安全事故，如爆炸等		
其他初始事件		
1.高温、高压环境		
2.屏蔽失效		
3.未知和没有标识的材料或物项		

备注：若表中所列的危险和初始事件可能在正常退役活动或事故工况下发生，使用时根据情况判断，并在相应的空格内打“√”。