

附件

核安全导则 HAD 401/08-2016

核设施放射性废物最小化

国家核安全局 2016 年 10 月 21 日批准发布

国家核安全局

核设施放射性废物最小化

(2016年10月21日国家核安全局批准发布)

本导则自发布之日起实施

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	6
1.1 目的	6
1.2 范围	6
2 目标和原则	6
2.1 总体目标	6
2.2 基本原则	7
2.3 废物最小化目标值	7
3 设计和建造阶段废物最小化	7
3.1 一般要求	7
3.2 从源头减少放射性废物的产生	8
3.3 放射性废物处理系统设计	11
4 运行阶段废物最小化	16
4.1 一般要求	16
4.2 废物最小化管理措施	18

4.3	废物最小化持续改进	19
4.4	核设施安全关闭期间废物最小化相关要求	20
5	退役阶段废物最小化	21
5.1	一般要求	21
5.2	废物最小化管理措施	22
5.3	退役阶段废物最小化技术	23
	名词解释	26
附件I 压水堆核电厂初步和最终安全分析报告中废物最小化相关内容		28
附件II 压水堆核电厂运行阶段年报废物最小化相关内容		30
附件III 压水堆核电厂退役安全分析报告中废物最小化相关内容		37
附录 A 世界主要核能国家压水堆核电厂单机组废物包年产生量及美国和欧洲核电厂用户要求文件对新建压水堆核电机组废物包年产生量要求		39
附录 B 常用的放射性固体废物处理技术		41
附录 C 我国核电厂废物最小化良好实践		44

1 引言

1.1 目的

本导则为核设施设计、建造、运行和退役单位开展放射性废物最小化（以下简称废物最小化）工作提供指导，也为监管部门进行核安全审评和监督管理提供参考。

附件I、II、III与正文具有同等效力。

附录 A、B、C 为参考性文件。

1.2 范围

本导则主要适用于压水堆核电厂设计、建造、运行和退役阶段的废物最小化，其他堆型核电厂、核燃料循环设施、研究堆等核设施也可参考使用。

2 目标和原则

2.1 总体目标

在核设施设计、建造、运行和退役过程中，通过废物的源头控制、再循环与再利用、清洁解控、优化废物处理和强化管理等措施，经过代价利益分析，使最终放射性固体废物产生量（体积和活度）

可合理达到尽量低。

2.2 基本原则

核设施废物最小化应以确保安全为前提，以废物处置为核心，通过技术和管理措施实现废物最小化，遵循源头控制优先、全过程管理、全员责任和持续优化的原则。

2.3 废物最小化目标值

应通过采取切实可行的设计和管理措施，并与国际最佳实践相比对，使得核设施放射性固体废物年产生量可合理达到尽量低。

附录 A 给出了世界主要核能国家压水堆核电厂单机组废物包年产生量及美国和欧洲核电厂用户要求文件对新建压水堆核电机组废物包年产生量要求。

3 设计和建造阶段废物最小化

3.1 一般要求

3.1.1 应通过合适的设计措施，从源头减少放射性废物的产生，使放射性废物产生量可合理达到尽量低。

3.1.2 应采取切实可行的方法，防止放射性污染扩散和材料的活

化。

3.1.3 应优先选用有毒有害成分少便于后续处理的材料，为废物的最小化创造条件。对可复用的物料应提供再循环的技术手段。

3.1.4 应结合厂址核设施建设规划，以废物安全处理和处置为目标，统筹考虑放射性废物处理和贮存设施，选择安全可靠的最小化先进工艺技术和设备，制定本阶段废物最小化目标值。

3.1.5 应提出便于设施退役、实现退役废物最小化的技术措施。

3.1.6 核设施安全分析报告中应包括废物最小化相关内容。附件 I 给出了压水堆核电厂初步和最终安全分析报告中废物最小化相关内容，其他核设施可参考。

3.1.7 核设施设计、建设单位及各级建造承包商应积极开展废物最小化知识和技能培训，提高核设施设计、建造、安装及调试的质量，为运行阶段设备安全运行及废物最小化奠定基础。

3.1.8 核设施设计单位应结合废物最小化技术发展及国内外运行经验反馈，优化设计方案，推进废物最小化持续改进。

3.2 从源头减少放射性废物的产生

以下以压水堆核电厂为例，给出从源头减少放射性废物产生的方法，其他核设施可供参考。

3.2.1 系统设计

3.2.1.1 通过采用长周期燃料循环、提高核电厂可用率（负荷因子）等措施，减少放射性废物产生量。

3.2.1.2 通过优化设计（如用控制棒替代通过反应堆冷却剂硼浓度变化调节反应性），减少反应堆冷却剂的上充和下泄，减少需后续处理的废液量。

3.2.1.3 通过合理设置辐射分区、合理组织气流、物流方向、设置放射性污染监测装置等措施，防止放射性污染扩散。

3.2.1.4 通过优化设计，合理确定设备、管道和阀门的数量。

3.2.1.5 提高盛装放射性物料系统的密封性能，减少放射性物质的泄漏。

3.2.1.6 对于可能被放射性污染的混凝土和其他材质的表面采用耐腐蚀、耐辐照涂层或钢覆面。

3.2.1.7 对于蒸汽发生器排污水、核岛通风系统凝结水及常规岛

液态流出物，需经收集后监测排放，若经分析放射性活度浓度超过排放控制值，送往废液处理系统进行处理。

3.2.2 设备选择

3.2.2.1 采用高可靠性的燃料组件，改进燃料包壳性能，减少燃料元件破损。

3.2.2.2 采用高可靠性、长寿命、便于维护和维修的设备，减少设备泄漏及维修产生的废物。

3.2.2.3 采用先进的制造工艺（如对不锈钢表面进行酸洗钝化处理，碳钢设备涂耐腐蚀涂层等），减少材料的腐蚀。

3.2.3 材料选择

3.2.3.1 与放射性介质接触的设备、管道和阀门，应采用适当的不锈钢材料。严格限制与一回路反应堆冷却剂接触的设备、阀门、管道和垫圈密封材料中钴、镍、银等元素的含量，主泵轴承材料中铈的含量，以及堆腔辐射漏束中子可达区域部件和结构材料中钴、镍等元素的含量，以减少活化腐蚀产物的产生。

3.2.3.2 与放射性介质接触的快速接头和阀门，应采用能够在特

定的介质环境条件下长期使用的密封材料，以降低腐蚀、泄漏和维修频率。

3.2.3.3 在处理放射性液体的系统中，采用高交换容量的树脂，以减少废树脂的产生量。

3.2.4 水化学控制

3.2.4.1 优化一回路水化学控制，如通过一回路加氢、注锌、停堆前加双氧水等，采用有效的过滤、离子交换和膜技术的净化技术等措施，提高一回路反应堆冷却剂水质，降低一回路设备的腐蚀和侵蚀速率。

3.2.4.2 提高一回路补给水水质，减少进入堆芯活性区的杂质含量。

3.3 放射性废物处理系统设计

以下以压水堆核电厂为例，为放射性废物处理系统设计环节开展废物最小化提供指导，其他核设施可供参考。

3.3.1 工艺设计

3.1.1 应根据放射性废气的特性对其分类收集和处理。

3.3.1.2 当含氡放射性废气采用贮存衰变处理工艺时，根据废气产生量（含大修工况）合理设置衰变箱个数和容积。

3.3.1.3 当含氡放射性废气采用活性炭延迟处理工艺时，合理确定延迟床的台数和活性炭装量。应设置活性炭保护床或其他干燥措施，避免活性炭因受潮而降低处理效率或过早失效。

3.3.1.4 根据放射性废液的物理、化学及放射性特性，分类收集各类放射性废液，尤其要将含油废水、有机溶剂、含洗涤剂的洗衣水和淋浴水与其他废液分开收集。

3.3.1.5 完善放射性废液相关系统的泄漏探测措施，及早发现和排除泄漏。

3.3.1.6 根据各类废液的特性选择净化效率高、二次废物少的处理工艺。

3.3.1.7 应严格评估和控制向核电厂各系统添加化学品的种类和数量。

3.3.1.8 系统、设备、部件、器具、辐射防护用品、墙壁和地面的清洗去污，应选择去污效率高、二次废物少的去污工艺和去污剂。

3.3.1.9 当采用离子交换除盐工艺处理可能含有胶体的工艺废液

时，宜对废液先进行预处理（如采用絮凝剂注入和深床过滤、超滤等技术）。在离子交换除盐床前和最后一级离子交换除盐床后应设置过滤器，以截留上游废水中的固体悬浮物及除盐床漏出的树脂碎屑。

3.3.1.10 为提高超滤、反渗透膜的寿命，在超滤、反渗透装置前应设置预过滤装置。

3.3.1.11 内陆核电厂氡浓度较低废液，经处理后，水质若满足复用要求，宜尽可能复用。

3.3.1.12 应采取措施，防止地下水、外部洪水、雨水或海水进入厂房的控制区。

3.3.1.13 应注重在固体废物产生地对其分类收集，设置必要的分拣装置并配备精度适用的辐射监测仪表，以便于对不同放射性活度的废物进行分类，特别是将非放射性废物和被放射性核素轻微污染经过贮存衰变后可清洁解控的废物从放射性废物中分拣出来，以减少放射性废物产生量。

3.3.1.14 应结合本厂址或区域核电机组分布、废物源项和处置场废物接收要求，统筹考虑放射性固体废物处理工艺，通过比选，在成熟可靠的前提下，选择最佳可用的固体废物处理技术。常用的

放射性固体废物处理技术参见附录 B。

3.3.1.15 对于低放射性可燃废物的处理，宜优先采用焚烧等无机化、稳定化处理技术；对于尺寸较大固体废物的处理，可先进行必要的去污和剪切。

3.3.1.16 选用放射性废物的处理工艺时应确保形成的废物体和废物包性能满足处置要求。

3.3.2 设备、阀门和管道的选型和设计

3.3.2.1 应根据物料的特性，选择质量可靠的设备、管道和阀门。

3.3.2.2 在设计文件中应对设备、管道和阀门内部的光洁度提出要求，减少设备不规则内表面的数量，减少放射性腐蚀产物的沉积，以便于进行去污，减少去污二次废物产生量。

3.3.2.3 除了泵、压缩机进出口、设备人孔、管道孔板等采用法兰连接外，设备、管道和阀门应尽量采用焊接连接，并保证焊缝质量，以减少潜在的泄漏。

3.3.2.4 应根据贮存介质的物理、化学和放射性特性，将设备溢流水分别引入相应的收集槽或地坑，收集槽和地坑应设置液位报警仪表和废液排出泵。

3.3.2.5 贮存放射性废液、浓缩液、废树脂、泥浆的贮槽应尽量采用锥底或椭圆形底结构，以便能完全排空所装的物料。

3.3.2.6 放射性物料贮槽应设置液位（料位）测量仪表和报警装置，防止发生溢出。

3.3.2.7 在满足贮存、运输和处置要求的前提下，应优先选用容积利用率高、增容少的废物包装容器。

3.3.3 布置设计

3.3.3.1 在厂房和设备布置时，应考虑将装有较高放射性水平物料的设备（如浓缩液贮槽、废树脂贮槽等）布置在专门的设备间内，设备间宜根据实际情况设置钢托盘或钢覆面，钢托盘或钢覆面的高度应足够容纳设备泄漏溢出的液体量，使物料泄漏时的污染限制在最小范围内。设备间内应设置收集泄漏液体的地漏、排水沟或地坑，地面应坡向地漏或地坑。

3.3.3.2 应设置必要的吊装和转运设备及运输通道，以利于将污染区的设备或部件拆卸、转运到维修区进行维修。

3.3.3.3 盛装和输运放射性介质（如废树脂、放射性废液等）

的设备和管道应配置相应的疏水和排气点，输送管道应尽可能短，并有适当的坡度和弯曲半径，以减少物料和放射性核素的沉积。

3.3.3.4 室内输送放射性液体的管道穿墙或楼板时宜设置套管，应尽量避免将工艺管道直埋在混凝土结构内。

3.3.3.5 室外输送放射性废液的管道宜布置在管沟内或设置双套管，应考虑相应的泄漏监测手段，避免直埋地下。

4 运行阶段废物最小化

4.1 一般要求

4.1.1 核设施营运单位应根据国家相关法规的要求以及本厂的实际情况，明确本厂废物最小化的组织机构和职责，充分发挥该机构的策划、组织、协调、实施和监督作用，制订废物最小化目标和改进计划，解决和处理核设施放射性废物管理的相关问题。

4.1.2 应将废物最小化纳入核设施的质量保证体系，编制并严格执行放射性废物管理大纲和管理程序。

4.1.3 建立完善的放射性废物管理信息系统，做好放射性废物信息的管理。

4.1.4 加强废物最小化知识和技能培训，使核设施所有员工（包括承包商员工）都能够熟悉废物最小化的要求和目标，并在本部门或个人的工作实践中贯彻落实。

4.1.5 应按时提交核设施运行年报中废物最小化的相关内容。附件II给出了压水堆核电厂运行年报中废物最小化内容，其他核设施可供参考。

4.1.6 应及时总结废物最小化的管理经验，学习和借鉴国内外废物最小化的良好实践，改进相关工作。我国核电厂废物最小化的良好实践参见附录 C。

4.1.7 应重视风险分析和评估，针对废物处理系统可能发生的运行事件（事故），制定相应的应急预案，做好应急准备，预防和减少事件（事故）的发生，减轻事件（事故）对废物产生量的影响。

4.1.8 通过分类收集、贮存衰变、清洁解控、再循环/再利用等运行管理措施减少放射性废物产生量。

4.1.9 应及时将废物包送往处置场处置，以减少暂存废物包锈蚀、开裂导致放射性核素包容性下降的风险。

4.2 废物最小化管理措施

4.2.1 在核设施运行阶段应制定切实可行的废物管理计划，积极推进废物最小化，加强核设施污染控制区的管理，防止污染扩散，做好废物的测量、分类收集和处理。

4.2.2 加强日常运行计划、大修计划管理和设备管理，通过预防性维修和纠正性维修等有效的维修策略以及工艺改进和设备升级来提高设备的可靠性，确保废物管理相关系统安全运行。

4.2.3 减少和避免非计划停机、停堆；合理安排设备大修工序，减少系统和设备的疏水次数，减少跑冒滴漏，减少废水产生量。

4.2.4 加强污染控制区防护用品和消耗材料管理，制定材料消耗计划和控制指标，减少控制区维修和维护活动的材料消耗，从源头减少放射性固体废物的产生。

4.2.5 采购耐用的个人防护用品，通过清洗、去污，多次重复使用等措施，减少消耗量，减少放射性废物的产生。

4.2.6 及时清除废水收集罐、废水收集地坑的淤泥，以减少废液处理系统滤芯的使用量。

4.2.7 采用钢制脚手架，减少木板用量；采用铝合金等金属工具

箱，便于去污，重复使用；对污染的工具采取去污，贮存衰变等措施，减少报废量；放射性污染物品在厂内不同厂房之间的运输，宜采用便于去污、经久耐用的金属箱或其他包装容器包装，减少包装皮和塑料布的使用，防止污染扩散，减少废物产生。

4.2.8 综合考虑安全性、技术可行性、公众可接受性，并在代价-利益分析的基础上，努力实现物料的再循环与再利用，如硼的回收利用，废水、废酸、废碱等的再利用，劳动保护用品、污染的零部件和工具清洗去污和修复后重复使用，污染的废钢铁去污后熔炼减容、回收利用等。

4.2.9 编制废物管理统计报表，通过统计数据分析和查找管理上的薄弱环节，持续改进，不断提高管理水平。

4.2.10 加强同国内外同行的技术交流，学习同行的管理经验。

4.3 废物最小化持续改进

4.3.1 核设施营运单位

每年应对废物最小化效果进行评价，并制定相应的改进措施。

4.3.2 运行核设施新建或改建废物处理设施应遵循本导则第 3

章的相关要求，统筹考虑全厂或区域放射性废物处理，选择最佳的废物最小化先进工艺技术和设备。

4.3.3 对核设施放射性相关系统进行技术改进应遵循以下原则：

(1) 选择去污因子高、减容效果好、二次废物少且经过充分工程验证的先进工艺和设备，并对二次废物进行有效处理；

(2) 应考虑原有厂房的布置空间、供电、通风、辅助介质的供应等，选择最佳的时机进行技术改造，避免对设施的安全运行产生影响；

(3) 应制订详细的改造方案和改造计划，在改造过程中落实废物最小化和应急措施；

(4) 对于检修报废的设备、管道等部件，应尽可能地切割成易于装入标准容器的小部件。对于难以切割减容的大型设备（如蒸汽发生器、大尺寸热交换器等），应进行封闭和去除外表面污染，暂存衰变，降低辐射水平后送处置场进行处置。

4.4 核设施安全关闭期间废物最小化相关要求

4.4.1 在核设施安全关闭期间，污染控制区的通风系统需要不间断

断运行，保持厂房处于负压状态，防止污染扩散。

4.4.2 定期对放射性废物处理系统的转动设备进行保养和试运转，确保放射性废物处理设施可用，及时处理安全关闭期间产生的废物，并为退役做好准备。

4.4.3 应定期对厂房和设备进行巡视，防止雨水或地下水进入厂房，以减少废物产生量。

5 退役阶段废物最小化

5.1 一般要求

5.1.1 应综合考虑国家法规、政策、标准、厂址环境条件、可用关键技术、配套设施、废物去向及处置措施等因素，选择退役策略和确定终态目标。

5.1.2 在制定退役计划时应对退役废物的处理和处置做出科学、合理的安排，制定废物最小化目标和具体措施。

5.1.3 在制定退役技术方案时应综合考虑废物最小化要求。根据退役过程产生的废物类型、核素种类、放射性水平、废物形态和数量等，采用最佳的废物减容技术，减少需要贮存和最终处置的废

物体积和活度。

5.1.4 核设施退役安全分析报告应包括废物最小化篇章，压水堆核电厂退役安全分析报告废物最小化篇章其主要内容见附件III，其他核设施可供参考。

5.2 废物最小化管理措施

5.2.1 核设施退役单位应明确废物最小化的组织机构及其职责、分工和接口，该机构负责废物最小化的策划、组织、协调、实施和监督，解决和处理退役过程中放射性废物最小化的相关问题。

5.2.2 应加强退役工作人员的废物最小化知识和技能培训，并实行绩效考核与效果评估制度。

5.2.3 应加强对参与退役的承包商的管理，签订废物最小化责任书。

5.2.4 应开展退役安全风险分析，制订应急计划，减少和防止污染扩散。

5.2.5 对经处理后达到清洁解控水平的废物，应及时解控。

5.2.6 为便于退役期间的废物管理，应建立退役废物管理数据库。

5.2.7 在退役过程中应定期进行废物最小化考核和评价，并进行持续改进。

5.3 退役阶段废物最小化技术

5.3.1 源项调查与监测

5.3.1.1 应根据调查对象的特点选择适当的源项调查方法，确定设施内积存的放射性污染核素及分布、废物类型、废物数量和放射性水平，为实现退役阶段废物最小化奠定基础。

5.3.1.2 应根据源项调查的要求，选择量程、精度满足要求的监测仪表，获取准确、可靠的源项数据。

5.3.1.3 在退役过程中，为防止放射性污染扩散，应加强工作场所气溶胶污染监测，设备、墙面和地面放射性表面污染监测及人体放射性污染监测。做好废物特性监测，为鉴别出大量可清洁解控的固体废物、极低放废物和非放射性废物奠定基础。

5.3.2 去污

5.3.2.1 应结合设施调查和监测情况，制订去污方案，明确去污目标，优化去污技术路线，实现安全、经济和有效的去污。

5.3.2.2 应根据物项放射性污染水平、核素种类及其形态、物理

化学特性、温度、pH 值和被污染物项的尺寸、材料、表面状况等因素，采用成熟、可靠、去污效率高、二次废物少、二次废物易于处理和操作人员受照剂量低的先进去污技术。

5.3.2.3 去污过程中尽量减少使用大量水或去污溶液进行冲洗去污。对于人员或机械手容易抵达的地方，应尽量使用擦拭去污。去污废液应尽可能由污染水平低的系统向污染水平高的系统复用，净化后循环使用。

5.3.3 切割解体和拆除

5.3.3.1 在设备切割、解体和拆除之前，应明确废物去向，作出预先安排。

5.3.3.2 应在综合考虑技术可行性、人员受照、费用和进度等因素的情况下，首选成熟、可靠以及二次废物少的切割和拆除技术，充分考虑放射性物质的包容，并确保其合理性和有效性。

5.3.3.3 通过附加通风和过滤、搭建临时气帐、采用冷切割、使用机械手和机械人操作、加强监测等措施，尽量减少切割解体和拆除操作时放射性物质的扩散，避免交叉污染，减少二次废物的产生。

5.3.3.4 应加强对拆卸废物的分类管理，选用适当的包装容器和

安全的吊运工具。

5.3.4 放射性废物管理

5.3.4.1 应根据低、中水平放射性废物和极低放废物的管理要求，严格执行放射性废物的分类管理。

5.3.4.2 应尽量利用原有可用的废物处理设施，建设新的废物处理设施应经过严格论证，以减少新建设施退役产生的放射性废物量。

5.3.4.3 所采用放射性废物的处理工艺应确保废物体和废物包满足处置场的废物接收准则。

5.3.4.4 应尽可能地对退役产生的有使用价值的物料进行再循环与再利用，包括废金属去污、熔炼后的再利用，废混凝土再利用等。

5.3.4.5 应设置必要的分拣装置并配备精度适用的辐射监测仪表，以便将非放射性废物分拣出来，以减少放射性废物产生量。

5.3.4.6 应采取有效检测手段鉴别和分拣出可清洁解控的固体废物，并及时对其进行解控。

5.3.4.7 应分拣出极低放废物，并对其进行妥善处置。

名 词 解 释

核设施废物最小化

核设施从设计到其退役的所有阶段，在统筹考虑一次废物和二次废物的情况下，通过减少废物产生、再循环再利用、优化处理工艺和管理措施，把放射性废物量（体积和活度）减小至可合理达到的尽量低的过程。

清洁解控

监管部门按规定解除对已批准进行的实践中的放射性材料或物品的管理控制。

减容

减小废物体积的处理方法。典型的减容方法有机械压实、焚烧和蒸发等，减容也包括通过去污（达到豁免）或避免废物的产生来减少废物的总体积。

再循环

将达到国家现行标准规定水平的物料返回生产流程中使用。

再利用

将放射性活度浓度或表面污染水平达到国家现行标准规定水平的工具、设备、建筑物和场地等进行再使用。

附件 I

压水堆核电厂初步和最终安全分析报告中 废物最小化相关内容

压水堆核电厂初步安全分析报告 (PSAR) 和最终安全分析报告 (FSAR) 废物最小化的内容如下 :

1.1 废物最小化原则 (PSAR、FSAR)

描述废物最小化的基本原则和要求。

说明废物最小化和废物管理大纲之间的关系。

1.2 废物最小化的组织机构 (FSAR)

描述废物最小化的组织机构，给出该机构的组织框架图。

描述各组织机构的主要责任人，明确有关活动中的具体职责和分工。

1.3 设计阶段的废物最小化 (PSAR、FSAR)

描述控制放射性废物产生的设计措施，包括材料选择、活化和污染扩散控制、废物分类收集、清洁解控、再循环与再利用等。说明废物处理工艺中实现废物最小化的措施。

在 PSAR 阶段，根据核电厂初步设计文件给出废物最小化预期目标值。在 FSAR 阶段，根据核电厂最终确定处理工艺，结合核电厂相应的管理措施，提出废物最小化目标值。

1.4 运行阶段的废物最小化（FSAR）

描述减少放射性废物产生量的运行管理措施，说明废物最小化评价和绩效考核方法。

描述废物管理大纲的主要内容，给出废物最小化相关的程序清单。

提出废物最小化的运行管理目标。

描述对人员（包括管理人员和工作人员）进行废物最小化方面的培训。

1.5 结论（PSAR、FSAR）

给出废物最小化的结论。

附件 II

压水堆核电厂运行阶段年报废物最小化相关内容

压水堆核电厂运行阶段年报废物最小化相关内容如下：

II.1 放射性废物处理和贮存设施运行总体状况简介

简要介绍放射性废物管理设施的构成，说明废物处理设施的运行状况，如各废物处理设施的运行时间、处理各类废物量和废物最小化管理的情况（包括源头控制措施、废物最小化培训和交流、承包商管理、绩效考核措施及奖惩管理）、与废物最小化相关的运行事件和经验反馈以及废物处理设施的技术改造情况等。

II.2 本年度废物产生量

按月份给出各机组各类放射性废物产生量，按年度给出各类废物包年度产生量、处置及库存统计表（包括包装容器型号、废物包数量、废物包体积、废物包外表面剂量率范围、主要核素活度范围），废物解控年度统计表（包括解控废物类型、体积、重量）。

表II.1 为《放射性废物月度产生量统计表》示例。

表II.2 为《放射性废物包年度产生、处置及库存信息统计表》示

例。

表II.3 为《废物年度解控信息统计表》示例。

为从废物产生的源头进行控制，各核电厂还可以针对不同废物，如过滤器、废树脂等，进行更详细的统计，包括源于某个设备、产生日期、剂量率、更换原因、数量以及其他对管理有用的信息。

II.3 本年度废物最小化自我评价及下一年度目标

应从源头减少、减容处理、再循环与再利用和废物管理的持续改进等四个方面进行评价，并说明本年度废物最小化目标的完成情况。

总结本年度值得推广的废物最小化良好实践，同时结合本年度管理情况，与国内外核电厂废物最小化良好实践对比，分析本年度废物最小化存在的不足。

提出下一年度废物最小化目标，包括年度废物产生量指标、大修期间废物产生量指标，针对本年度存在的问题提出下一年度的改进措施（包括计划开展的与废物最小化相关的技术改造项目）。

表II.1 放射性废物月度产生量统计表 (XXX 核电厂 X 台机组)

项 目			月 份												
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	合计
放射性废液产生量【注1】	工艺废水	m ³													
		Bq													
	化学废水	m ³													
		Bq													
	地面废水	m ³													
		Bq													
服务排水	m ³														
	Bq														
放射性固体废物产生量	废树脂	m ³													
	废液处理活性炭	m ³													
	浓缩液	m ³													
	水过滤器芯	个													
	淤泥	m ³													

项 目			月 份												
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	合计
	膜元件	个													
放射性固体废物 产生量	可燃干废物	m ³													
	不可燃、可压干废物	m ³													
	废金属（不含大尺寸废物）	t													
	大尺寸废物（如压力容器顶盖等）	个/t													
	通风预过滤器	个													
		m ³													
	通风高效过滤器	个													
		m ³													
	碘吸附器（活性炭过滤器）	个													
		m ³													
润滑油及有机溶剂	m ³														

注 1：若废水分类不同，可按实际情况进行统计；如果二回路废水被放射性污染，也应进行统计。

表II.2 放射性废物包年度产生、处置及库存信息统计表 (XXX 核电厂 X 台机组)

项目	处理前废物类型	废物包信息				
		包装容器型号	废物包数量 (个)	废物包体积 (m ³)	废物包表面剂量率范围 (mSv/h)	主要核素活度范围
年度产生废物包	废树脂					
	浓缩液					
	泥浆					
	过滤器芯					
	膜元件					
	干废物					
年度送交处置废物包	废树脂					
	浓缩液					
	泥浆					
	过滤器芯					
	膜元件					
	干废物					

项目	处理前废物类型	废物包信息				
		包装容器型号	废物包数量 (个)	废物包体积 (m ³)	废物包表面剂量率范围 (mSv/h)	主要核素活度范围
年末废物 贮存库积 存废物包	废树脂					
	浓缩液					
	泥浆					
	过滤器芯					
	膜元件					
	干废物					

表II.3 废物年度解控废物信息统计表 (XXX 核电厂 X 台机组)

废物类型	数 量		备 注
	体积 (m ³)	重量 (t)	
不锈钢			
碳钢			
蒸汽发生器排污系统废树脂			
其他废物【注】			

注：若有其他解控废物，应给出废物的具体类型，如铜、铝、活性炭、劳保用品等。

附件 III

压水堆核电厂退役安全分析报告中 废物最小化相关内容

压水堆核电厂退役申请文件中废物最小化篇章的主要内容如下：

III.1 废物最小化原则

描述退役阶段废物最小化的基本原则和要求。

III.2 废物最小化组织机构

描述废物最小化的组织机构，给出该机构的组织框架图。

描述各组织机构的主要责任人，明确有关活动中的具体职责和分工。

III.3 废物最小化措施

描述防止放射性污染扩散、从源头减少放射性废物的手段以及设施去污、切割、拆除和废物处理工艺中实现废物最小化的措施。

描述减少放射性废物产生量的管理措施，说明废物最小化评价和绩效考核方法。

据源项调查和采用的优化退役工艺技术给出各类废物的预期产生量，以及废物包的预期值。

III. 4 给出落实废物最小化措施的结论

附录 A

世界主要核能国家压水堆核电厂单机组废物包年产生量及美国和欧洲核电厂用户要求文件对新建压水堆核电机组废物包年产生量要求

核电厂废物包产生量取决于其废物管理政策、固体废物处理工艺、机组大修策略、液态流出物排放控制值以及核电厂管理水平。

附录 A.1 给出世界主要核能国家压水堆核电厂单机组废物包年产生量中位值及最优水平，附录 A.2 给出美国和欧洲核电厂用户要求文件对新建单台百万千瓦压水堆核电机组固体废物包年产生量目标值。

附录 A.1 世界主要核能国家压水堆核电厂单机组废物包年产生量(1)

中位值⁽²⁾及最优水平

国 家	美国	法国	日本	西班牙	比利时	韩国
单机组废物包年产生量中位值, m ³	20	84	8	46	23	52
单机组废物包年产生量最优水平, m ³	7	45	6	30	21	11

注：(1) 相关数据引自 WANO performance indicator report, 2000。

(2) 中位值 (median): 又称中位数, 代表一个样本、种群和概率分布中的一个数值, 其可将该数值集合分为相等的上下两部分。对于有限的数集, 可以通过将所有观察值按从高到低排序, 找出中间的一个作为中位值; 如果统计数有偶数个, 通常取中间的两个数值的平均数作为中位值。

附录 A.2 美国和欧洲核电厂用户要求文件规定单台新建百万千瓦压水堆核电机组

固体废物包年产生量要求

文件名称	单台百万千瓦压水堆核电机组废物包年产生量 目标值, m ³
《美国核电厂用户要求文件》(URD)	≤50
《欧洲核电厂用户要求文件》(EUR)	≤50

附录 B

常用的放射性固体废物处理技术

表 B.1 给出了常用的放射性固体废物处理技术。

表 B.1 常用的放射性固体废物处理技术

序号	技术名称	适用处理的废物	技术特点	推荐建造方式
1	干废物分拣	抹布、废纸、塑料布、棉织品、废弃零部件等。	通过检测设备快速确定放射性废物与非放射性废物。	废物产生地和废物处理设施。
2	焚烧	可燃干废物（包括 PE 制品、废纸、木头、棉织品、PVC 制品、低放废树脂）、废油、废有机溶剂等。	减容、减重比高，废物无机化，处置安全性好。	多堆厂址及核电厂集中区域，推荐在废物处理中心设置焚烧设施。
3	超级压实	适用于干废物、低活度的废过滤器芯、焚烧灰、干燥的废树脂等。超级压实可对桶装废物与桶一起压实，还可直接对一些薄壁的小型金属箱体和管道进行压实。	处理工艺简单，减容比随废物特性不同有差别。	废物处理中心、废物处置场

序号	技术名称	适用处理的废物	技术特点	推荐建造方式
4	浓缩液再浓缩及高效固化	含硼浓缩液。	浓缩液经进一步浓缩减容后再与固化剂进行固化，该工艺增容比小。	废物处理中心。
5	废物固定	污染金属、废过滤器芯、废液处理产生的废膜、超级压实产生的废物饼块。	工艺简单，使废物固定在混凝土胶结材料中，废物固定后有不同程度的增容。	废物处理中心。
6	干燥	废树脂、浓缩液、泥浆、废过滤器芯、湿抹布、吸水材料，被水浸湿的其他干废物。	使废物含水率满足处置要求，可直接装入包装容器或高完整性容器中送处置场进行处置。	废物处理中心。
7	高完整性容器（也称高整体器）	废树脂、浓缩液干燥后形成的盐、废过滤器芯、焚烧灰、蒸汽重整的残渣及其他经论证可以适用处理的其他废物。	废物增容小、处理工艺简单，废物包满足处置要求。可直接装入高完整性容器中送处置场处置。	废物处理中心。
8	湿法氧化	废树脂、废油。	实现废物无机化，残渣经高效固化后形成稳定的废物体。废物减容比较高，尾气处理较简单。	废物处理中心。
9	蒸汽重整	废树脂、活性炭、有机干废物等。	废物减容比高，实现废物无机化，处理后产物可直接装入高完整性容器。	废物处理中心。
10	去污	污染设备、管道、工具、地面、墙面。	防止污染扩散，可回收利用被放射性污染的工具和材料（包括零部件），实现废物污染水平的降级或清洁解控。	污染设施现场或核电厂内专设去污设施。
11	金属熔炼	低水平放射性污染金属。	可实现无条件或有条件的再利用。	区域金属熔炼设施。
12	清洁解控	轻微污染的金属、保温材料、混凝土等。	可大幅减少需处置的放射性废物量。	废物收集点或废物贮存设施。

序号	技术名称	适用处理的废物	技术特点	推荐建造方式
13	辐射防护用品降解技术	用降解材料制成的连体服、内衣、鞋套、手套、袜子、薄膜、拖布、抹布、废物袋等。	减少需作为放射性废物处理的干废物量。	废物处理中心。

附录 C

我国核电厂废物最小化良好实践

我国核电厂在设计、建造和运行过程中积累了大量的废物最小化方面的良好实践，可供相互学习和借鉴，详见表 C.1。

表 C.1 我国核电厂废物最小化良好实践

序号	良好实践
1	建立核电厂放射性废物管理机构，制定废物管理政策和目标，协调全厂放射性废物产生、处理与管理工作的，强化废物最小化管理。
2	建设放射性固体废物集中处理设施。
3	将多个废液过滤器芯装入一个包装容器，用水泥浆固定，提高了包装容器的容积利用率。
4	废弃的通风过滤器芯经贮存衰变后，拆除金属框架回收利用，仅将过滤材料作为放射性废物压实处理；轻微污染的废通风过滤器芯经贮存衰变后，做解控处理。
5	改进浓缩液、废树脂水泥固化配方，提高浓缩液和废树脂的体积包容率。
6	采用先进的湿废物固化搅拌工艺，提高废物桶填充率；采用钢桶作为固化物包装容器，提高包装容器的体积利用率。
7	设置干废物超级压实装置，对初级压实废物进一步压实减容。
8	开展 ^{110m}Ag 污染治理，将设备、管道法兰垫片替换为不含银的垫片，将含 ^{110m}Ag 的废液由离子交换处理改用蒸发或其他处理技术。
9	建设焚烧装置，实现废弃工作服、抹布、废油等可燃废物的减容处理。

序号	良 好 实 践
10	含硼浓缩液采用再浓缩固化技术，实现含硼废液高效减容固化。
11	加强大修期间控制区物料管理，避免或减少包装材料进入控制区。
12	使用过滤孔径更小的水过滤器，提高一回路水水质，减少废树脂产生量。
13	设置大修废物管理工程师，专门负责工作许可文件中隔离措施的审查和优化，预防跑、冒事故，减少废水产生。
14	定期清理废水收集坑和废水收集箱的淤泥，以减少下游过滤器的堵塞。
15	污染废钢铁冶炼去污减容后浇注成高辐射废水过滤器芯的屏蔽材料，减少铅屏蔽材料的使用量。
16	将控制区报废的棉质工作服、T 恤衫用来作为去污的擦拭布，减少白棉布的使用量，减少废物产量。
17	制作放射性固体废物最小化的视频教材，培训新员工，并上传到公司网络系统中，加强了培训和宣传，使电厂员工和承包商增强废物最小化意识，节约控制区消耗材料。
18	将表面剂量率大于 2mSv/h 的干废物先暂存衰变，并定期进行测量和分拣，当衰变到 2mSv/h 以下时再装入金属桶进行压实减容处理。
19	将轻微污染的蒸汽发生器排污系统废树脂贮存衰变，经监测后，若符合清洁解控要求，实施清洁解控。
20	建立废物管理信息数据库，做好废物的年度盘点统计，做到账物相符。