

ICS 13.030.30

F 75



中华人民共和国国家标准

GB 41930—2022

低水平放射性废物包特性鉴定 —水泥固化体

Characterization of low level radioactive waste packages
—cemented waste form

本电子版为正式标准文本，由生态环境部环境标准研究所审校排版。

2022-09-09 发布

2023-01-01 实施

生态环境部
国家市场监督管理总局 发布

目 次

前 言	ii
1 适用范围	1
2 规范性引用文件.....	1
3 术语与定义	1
4 废物包特性鉴定要求.....	2
5 废物体特性鉴定方法.....	5
6 废物包特性鉴定方法.....	7
7 质量保证	7
附录 A（资料性附录） 核素选择.....	9
附录 B（资料性附录） 取样.....	10

前 言

为贯彻《中华人民共和国环境保护法》《中华人民共和国放射性污染防治法》《中华人民共和国核安全法》，保护环境，保障低水平放射性废物处理处置安全，制定本标准。

本标准规定了以水泥为主要固化（固定）介质的低水平放射性废物包特性鉴定要求和方法。

本标准为首次发布。

本标准的附录 A 和附录 B 为资料性附录。

本标准由生态环境部辐射源安全监管司、法规与标准司组织制订。

本标准主要起草单位：中国工程物理研究院材料研究所、中核四川环保工程有限责任公司、中核四〇四有限公司、中广核工程有限公司、中国辐射防护研究院。

本标准生态环境部 2022 年 9 月 9 日批准。

本标准自 2023 年 1 月 1 日起实施。

本标准由生态环境部解释。

低水平放射性废物包特性鉴定——水泥固化体

1 适用范围

本标准规定了以水泥为主要固化（固定）介质的低水平放射性废物包特性鉴定要求和方法。本标准适用于待近地表处置的低水平放射性废物包（包括固化体和固定体）的特性鉴定。本标准不适用于使用高完整性容器的废物包的特性鉴定。

2 规范性引用文件

本标准引用了下列文件或其中的条款。凡是注明日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本标准。凡是未注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本标准。

GB/T 2419	水泥胶砂流动度测定方法
GB/T 4835.1	辐射防护仪器 β 、 X 和 γ 辐射周围和/或定向剂量当量(率)仪和/或监测仪 第 1 部分：便携式工作场所和环境测量仪与监测仪
GB/T 5202	辐射防护仪器 α 、 β 和 α/β (β 能量大于 60 keV) 污染测量仪与监测仪
GB 9132	低、中水平放射性固体废物近地表处置安全规定
GB 11806	放射性物品安全运输规程
GB 12711	低、中水平放射性固体废物包安全标准
GB/T 14056.2	表面污染测定 第 2 部分：氚表面污染
GB 14569.1	低、中水平放射性废物固化体性能要求—水泥固化体
GB/T 15555.12	固体废物 腐蚀性测定 玻璃电极法
GB/T 17671	水泥胶砂强度检验方法（ISO 法）
GB 18871	电离辐射防护与辐射源安全基本标准
GB/T 19211	辐射型货物和（或）车辆检查系统
GB/T 50080	普通混凝土拌合物性能试验方法标准
GB/T 50081	混凝土物理力学性能试验方法标准
HJ/T 20	工业固体废物采样制样技术规范
HJ/T 299	固体废物 浸出毒性浸出方法 硫酸硝酸法
EJ 914	低、中水平放射性固体废物混凝土容器
EJ 1042	低、中水平放射性固体废物容器 钢桶
EJ 1076	低、中水平放射性固体废物容器 钢箱
《放射性废物分类》（环境保护部、工业和信息化部、国家国防科技工业局公告 2017 年第 65 号）	

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本标准。

GB 41930—2022

3.1

废物包特性鉴定 characterization of waste package

通过调查、计算、分析和（或）测量确定废物体和废物包的物理、化学和放射特性。

3.2

废物体 waste form

通过处理和（或）整备后形成的具有一定物理和化学形态的放射性固体废物。废物体是废物包的一部分。

3.3

废物包 waste package

废物整备后的产品，包括废物体和容器，也包括可能存在的衬里，以便符合搬运、运输、贮存和（或）处置的要求。

3.4

废物容器 waste container

供搬运、运输、贮存和（或）最终处置用的、盛放放射性废物的容器。

3.5

废物固定体 immobilized waste form

用水泥砂浆、混凝土等介质把放射性固体废物固结成整体的废物体。

3.6

水泥固化体 cemented waste form

放射性废物与水泥基材按照一定配方混合形成的均匀废物体。

4 废物包特性鉴定要求

4.1 一般要求

4.1.1 废物包特性鉴定宜根据废物来源、废物流特征，对废物分类收集、处理、整备、贮存、运输等过程的特性数据进行调查、分析，所得到的结果是废物包性能评价的依据之一。

4.1.2 废物包特性鉴定可通过文件检查、目测检查和直接检查手段进行。即通过检查废物产生单位提供的文件资料，判断废物包是否满足 GB 9132 和 GB 12711 的要求；通过检查废物包表面是否破损、裂缝、变形、桶（箱）盖是否锁紧，以及标识、编码是否清晰等，判断是否满足废物接收标准的要求；也可以按一定比例抽取一定量的废物包进行直接测量。

4.1.3 在废物处理、整备阶段，需根据废物源项、处理和/或整备工艺，制订取样方案，进行取样分析，确定废物组分和放射性特性。在废物体形成过程中，如已通过旁路取样或实验室模拟制样，证明废物体性能能够满足 4.2.1 中规定的性能要求，则在废物源项、处理整备工艺过程和工艺参数不变情况下，认为产生的废物体均满足标准要求，且可不再进行废物包性能测试；若废物源项、处理整备工艺过程和工艺参数发生较大变化，则须进行性能测试，以验证产生的废物体/废物包满足标准要求。

4.1.4 废物包放射性核素组成和活度浓度为废物包特性鉴定的核心内容。在废物体形成前，需对废物源项进行测量；在废物体形成后，宜对放射特性进行验证。测量方法可根据废物来源途径、废物中放射性核素是否均匀分布确定。为简化测量，类似来源的废物可通过测试-模型-验证途径建立表征方法。使用的参数、模型以及方法应可信，并经过验证或证明。

4.2 废物包性能及检验要求

4.2.1 废物体

4.2.1.1 水泥固化体检验项目及性能要求见表 1。

表 1 水泥固化体检验项目及性能要求

检验项目	性能要求
游离液体	在室温、密闭条件下，经过养护后的水泥固化体无泌出的游离液体。
抗压强度	在室温、密闭条件下，经过养护、完全硬化后的水泥固化体试样抗压强度 ≥ 7 MPa。
抗冲击性能	执行 GB 14569.1 中的有关规定。
抗浸出性	水泥固化体试样在 25℃ 的去离子水中浸出，核素第 42 天的浸出率应低于下列限值： ^{60}Co : 2×10^{-3} cm/d; ^{137}Cs : 4×10^{-3} cm/d; ^{90}Sr : 1×10^{-3} cm/d; ^{239}Pu : 1×10^{-5} cm/d; 其他 β 、 γ 放射性核素（不包括 ^3H ）: 4×10^{-3} cm/d; 其他 α 核素: 1×10^{-5} cm/d。 核素 42 天的累积浸出分数应低于下列限值： ^{137}Cs : 0.26 cm; 其他放射性核素（不包括 ^3H ）: 0.17 cm。
抗浸泡性	水泥固化体试样抗浸泡试验后，其外观不应有明显的裂缝或龟裂，抗压强度损失不超过 25%。
抗冻融性	水泥固化体试样抗冻融试验后，其外观不应有明显的裂缝或龟裂，抗压强度损失不超过 25%。
耐 γ 辐照性	水泥固化体试样进行 γ 辐照试验后，其外观不应有明显的裂缝或龟裂，抗压强度损失不超过 25%。

4.2.1.2 废物固定体检验项目及性能要求

a) 水泥砂浆试样应符合下列要求：

- 1) 28 d 抗压强度不小于 60 MPa;
- 2) 流动度不小于 310 mm;
- 3) 28 d 氯离子迁移电量不大于 2500 C。

b) 细石混凝土试样应符合下列要求：

- 1) 28 d 抗压强度不小于 60 MPa;
- 2) 塌落扩展度不小于 680 mm;
- 3) 28 d 氯离子迁移电量不大于 2000 C。

4.2.2 废物容器

废物容器应采用满足 EJ 1042、EJ 1076 规定的钢制容器或 EJ 914 规定的混凝土容器。

4.2.3 废物包

4.2.3.1 废物包内放射性核素的种类及活度浓度应符合《放射性废物分类》中低水平放射性废物的限值要求。

4.2.3.2 单个含氚废物包中氚的总活度应不超过 1.3×10^{13} Bq，且氚释放率每月不得大于总活度的十万分之一。

4.2.3.3 废物包表面污染限值：

β 、 γ 发射体，低毒 α 发射体 ≤ 4 Bq/cm²

其他 α 发射体 ≤ 0.4 Bq/cm²

4.2.3.4 废物包中游离液体的含量应不超过废物体积的 1%。

4.2.3.5 废物包的填充率应不低于废物容器全容积的 90%。

4.3 废物包检验项目规定

废物包形成过程中，检验项目、检验方法及检验频次应符合表 2、表 3 的规定。

表 2 低水平放射性废物包检验项目与方法—水泥固化体

检验项目		检验方法 ^a		检验频次 ^b
		废物处理与整备	废物包	
放射性	核素及活度浓度	5.1	5.1	批次检验，4.1.4
	表面污染		6.2.2、6.3.1	单个废物包
	表面剂量率		6.2.1	单个废物包
化学性能	化学组成	5.2.1		4.1.3
	浸出性	5.2.2		4.1.3
	抗浸泡性	5.2.3		4.1.3
	腐蚀性	5.2.4		4.1.3
	易爆性		5.2.5	4.1.3
物理性能	均匀性		5.3.1	必要时抽检，4.1.3
	游离液体	5.3.2.1		4.1.3
机械性能		5.4.1		4.1.3
辐照稳定性		5.5		4.1.3
热稳定性		5.6		4.1.3
废物容器	钢桶	4.2.2		执行 EJ 1042 规定
	钢箱	4.2.2		执行 EJ 1076 规定
	混凝土容器	4.2.2		执行 EJ 914 规定
废物包填充率			目测、称重或 5.3.1	按 2% 抽样，至少 2 个
含氚废物包的氚释放			6.3.2	按 2% 抽样，至少 2 个
废物包实物检查	文件检查		6.1	单个废物包
	现场检查		6.1	按不大于 2% 抽样，至少 2 个
^a 检验方法的详细要求见栏内的章节号对应部分。 ^b 栏内有章节号的，检验频次应符合该章节所述的要求。				

表 3 低水平放射性废物包检验项目与方法—废物固定体

检验项目		检验方法 ^a		检验频次 ^b
		废物处理与整备	废物包	
放射性	核素及活度浓度	5.1	5.1	批次检验，4.1.4
	表面污染		6.2.2、6.3.1	单个废物包
	表面剂量率		6.2.1	单个废物包
化学性能	化学组成	5.2.1		批次检验
物理性能	游离液体		5.3.2.2	必要时抽检
	固定介质抗渗性能	5.3.3		4.1.3
	固定介质流动度	5.3.4		4.1.3
固定介质机械性能		5.4.2、5.4.3		4.1.3

续表

检验项目		检验方法 ^a		检验频次 ^b
		废物处理与整备	废物包	
废物容器	钢桶	4.2.2		EJ1042 规定
	钢箱	4.2.2		EJ1076 规定
	混凝土容器	4.2.2		EJ914 规定
废物包填充率			目测、称重或 5.3.1	按 2% 抽样，至少 2 个
含氚废物包的氚释放			6.3.2	按 2% 抽样，至少 2 个
废物包实物检查	文件检查		6.1	单个废物包
	现场检查		6.1	按不大于 2% 抽样，至少 2 个
^a 检验方法的详细要求见栏内的章节号对应部分。				
^b 栏内有章节号的，检验频次应符合该章节所述的要求。				

5 废物体特性鉴定方法

5.1 放射性测量

5.1.1 核素选择原则

需测量的放射性核素选择原则参见附录 A。

5.1.2 直接测量法

取样方法可参照附录 B，使用能谱分析和/或放射化学分析手段，测定废物/废物包的放射性核素组成和活度。

5.1.3 非破坏性测量

5.1.3.1 使用 γ 射线、中子等非破坏性测量手段，采用经过验证合格的程序、模型，根据废物源项资料和废物体生产工艺、废物容器屏蔽参数、核素在废物体中的分布情况等参数，可推算废物体中放射性核素的组成和活度。

5.1.3.2 非破坏性测量方法在建立阶段应验证，并进行不确定性分析；在向不同场景拓展使用范围时，应进行合理性验证；在使用阶段，也应定期验证模型的重要参数。

5.1.4 关键核素推算法

如果废物中不同放射性核素之间的定量关系已知，并且其中至少有一个容易测量的关键核素，可以通过对该关键核素的测量，用换算因子或核素间的平衡关系计算出其他核素的量和废物体的放射性活度；在使用阶段，应定期验证核素间的平衡关系和换算因子。

5.1.5 计算法

通过废物中放射性核素的组成和/或生产工艺过程及其关键参数，包括如中子注量率、辐照时间、平均能耗、冷却衰变时间、物料与放射性平衡计算、过程中的核素迁移计算参数和固化体中废物包容量等，采用经过验证的程序，计算或估算废物体中的放射性核素及其比活度。

5.2 化学性能检验方法

5.2.1 化学组成

取样方法可参照附录 B，对样品进行化学分析和/或放化分析。

如废物中含有危险废物，且不能确定成分时，应按照 HJ/T 299 规定的方法，检测废物中有毒物质。

5.2.2 浸出性

水泥固化体中放射性核素的浸出率测定，应符合 GB 14569.1 的规定。

5.2.3 抗浸泡性

水泥固化体抗浸泡性测定，应符合 GB 14569.1 的规定。

5.2.4 腐蚀性

废物体腐蚀性检验，应符合 GB/T 15555.12 的规定。

5.2.5 易爆性

对含有辐解时会产生氢气或甲烷的废物体，或者易挥发有机化合物的废物体，应根据废物中含氢物质的量和放射性核素的量，估算氢气和/或甲烷的生成速率，并测定形成的废物包的顶部空间中氢气、甲烷和易挥发有机化合物的浓度。

5.3 物理性能检验方法

5.3.1 均匀性

废物体的均匀性宜采用层析 X 射线照相法测定，也可采用剖开等方式测定。

5.3.2 游离液体

5.3.2.1 水泥固化体中游离液体检查，应符合 GB 14569.1 规定。

5.3.2.2 废物固定体中游离液体可采用射线照相、层析 X 射线照相或超声波测定。

5.3.3 固定介质的抗渗性能

水泥砂浆和细石混凝土抗渗性能检验，应符合 EJ 914 中附录 C 的规定。

5.3.4 流动度

5.3.4.1 水泥砂浆流动度测定，应符合 GB/T 2419 的规定。

5.3.4.2 细石混凝土塌落扩展度测定，应符合 GB/T 50080 的规定。

5.4 机械性能检验方法

5.4.1 水泥固化体抗压强度、抗冲击性检验，应符合 GB 14569.1 的规定。

5.4.2 水泥砂浆抗压强度检验，应符合 GB/T 17671 的规定。

5.4.3 细石混凝土抗压强度检验，应符合 GB/T 50081 的规定。

5.5 辐照稳定性检验方法

水泥固化体耐 γ 辐照性测试，应符合 GB 14569.1 中 6.5 的规定。

5.6 热性能检验方法

水泥固化体抗冻融性测试，应符合 GB 14569.1 的规定。

6 废物包特性鉴定方法

6.1 废物包实物检查

6.1.1 废物包应根据废物源项和/或产生批次，按每批次不大于 2%、至少 2 件的比例抽查。抽查检验以非破坏性检验为主，必要时可参照附录 B 的规定取样分析，包括以下部分或全部内容：

- a) 废物包外观；
- b) 废物包质量；
- c) 废物包的表面污染水平；
- d) 废物包的表面辐射剂量水平；
- e) 废物包内放射性核素种类及活度；
- f) 废物包的空隙及填充率；
- g) 废物包内容物的种类、性状。

6.1.2 对于不使用运输容器，直接用作运输货包的废物包还应确认是否满足 GB 11806 的要求。

6.1.3 废物包的实物检查可采用符合 GB/T 19211 规定的装置。

6.2 放射性测量

6.2.1 剂量率测量

剂量率测量宜采用符合 GB/T 4835.1 规定的剂量率仪，考虑环境辐射本底影响，采取避免或扣除措施。

6.2.2 表面污染测量

6.2.2.1 废物包表面污染测量宜采用符合 GB/T 5202 规定的表面污染测量仪。

6.2.2.2 废物包表面非固定污染测量应采用擦拭法。擦拭面积应根据废物包形状和测量置信度的要求确定，不应小于 300 cm²；擦拭取样应有代表性，擦拭样品的测量应使用屏蔽良好的固定式计数装置，同时扣除本底。

6.3 含氚废物包检验方法

6.3.1 废物包表面氚污染测量，应符合 GB/T 14056.2 的规定。

6.3.2 废物包释氚率采用全氚取样、液体闪烁谱仪测量方法，测算释氚率。

7 质量保证

7.1 与废物体和废物包特性鉴定有关的单位应编制特性鉴定的质量保证文件，包括组织机构、人员和设备配置、管理程序、技术要求等。应规定特性鉴定的技术要求以及保证措施。

7.2 废物产生单位在处理整备废物时，应对各工艺过程、工艺设备和仪表进行质量控制和评定，确保生产过程处于受控状态。

7.3 废物体、废物包产生工艺控制应符合相关标准和准则要求，质量保证文件应对工艺过程涉及的工

作人员资格、使用的程序和设备做出规定，以保证由合格的工作人员，按照认可的程序、使用合格的设备，按照现有标准完成废物体、废物包的生产。

7.4 特性鉴定过程的采样、制样、分析、测量、数据处理和评审、接口管理控制，应制定保证特性鉴定结果可靠性和具有足够置信度的操作程序和操作手册。仪器和设备应妥善维护、保管和定期标定，并采取保证合适的准确度和精度措施。

7.5 废物包特性技术说明文件编制，应符合相关标准、规范要求，并对文件的真实性负责。

7.6 废物体和废物包特性鉴定工作人员应符合质量保证文件中对工作人员资格的要求，并按照规定完成了培训和考核。

7.7 应建立文件控制制度并执行。特性鉴定记录应满足放射性废物管理要求，质量文件的审查、批准、发放、保存和销毁，应符合规定程序要求。

7.8 应保证放射性废物体、废物包从产生到处置各环节质量受控。为其他废物产生单位提供废物处理、贮存和处置服务的营运单位，可以将质保工作前延，以核实认定放射性废物体和废物包的特性并确保其满足废物处理、贮存或处置设施的废物接收准则。

附 录 A
(资料性附录)
核素选择

- A.1 根据废物流特征确定可能含有的放射性核素。
- A.2 结合放射性废物分类要求确定需给出活度浓度的核素。放射性废物分类中重点关注的核素包括，H-3、Co-60、C-14、Ni-59、Ni-63、Sr-90、Nd-94、Tc-99、I-129、Cs-137以及半衰期大于5年发射 α 粒子的超铀核素。如根据第1条判定可能产生本条中列举的核素，则需要给出该核素的活度浓度。
- A.3 第2条确定的核素之外的，活度水平超过豁免水平的100倍且在废物包总活度中的比例大于1%的核素。

附 录 B
(资料性附录)
取 样

B.1 基本要求

- B.1.1 宜根据废物源项、处理工艺的稳定性、废物体的均匀性和取样目的，制定取样方案。
- B.1.2 选用的取样方法和设备应适合被取样物的特性和取样点设计的要求。
- B.1.3 可在废物的处理、整备过程中采样，必要时可采取实验室模拟手段制样。
- B.1.4 为满足数据的置信度和准确度要求，需保证有足够的对照样本。
- B.1.5 应满足 GB 18871 规定的要求，避免取样造成辐射危害和环境污染。

B.2 均匀废物取样

B.2.1 工艺过程取样

均匀废物宜采用在线、定时定点取样，且尽可能在废物流的源头取样。

B.2.2 废物包中取样

宜采用抽样或等分取样方式，对废物包进行钻芯取样、压芯取样或切割取样。也可采用相同工艺条件下的实验室模拟样品。

B.3 非均匀废物取样

- B.3.1 宜在不同废物产生地或在混合之前，分别对不同废物的代表性样品进行取样。
- B.3.2 宜将非均质废物切碎、混合后，按 HJ/T 20 规定的方法进行。
- B.3.3 对于不易切碎的非均质废物，宜压实后“钻芯”取样。
- B.3.4 对非均质的金属废物，宜熔融/酸溶处理后再取样。

B.4 取样频度与取样量

- B.4.1 根据废物处理工艺的稳定性、废物体的均匀性和取样目的，参照 HJ/T 20 规定的方法设定取样频度和取样量。
- B.4.2 当测定结果不满足所规定的置信度或准确度要求时，需要再次取样。