

附件3

《低水平放射性废物固化体性能要求 –
水泥固化体（修订征求意见稿）》编制说明

标准修订工作组

二〇二四年八月

目 录

一	项目背景情况.....	1
1	标准概况.....	1
2	任务来源.....	1
3	工作过程.....	1
二	标准修订必要性分析.....	3
1	GB14569. 1-2011 标准使用过程中存在的问题.....	3
2	标准修订的目的.....	4
三	国内外相关标准情况.....	4
四	拟采用的原则、方法和技术路线.....	5
1	拟采用的原则.....	5
2	拟采用的方法.....	5
3	技术路线.....	6
五	标准主要技术内容.....	6
1	适用范围.....	7
2	规范性引用文件.....	7
3	术语和定义.....	7
4	水泥固化体放射性活度浓度限值.....	7
5	性能要求.....	7
6	性能检验方法.....	8
7	性能检验频次.....	9
8	附录 A.....	9
9	实践中具体问题的进一步解释.....	10
六	与国内外同类标准或技术法规的对比和分析.....	10
1	国外标准分析比较.....	10
2	国内标准分析比较.....	12
七	实施本标准的管理措施、技术措施、实施方案建议.....	13
1	管理措施建议.....	13
2	技术措施建议.....	13

一 项目背景情况

1 标准概况

近二十年来我国核工业蓬勃发展，大量核设施运行产生的放射性废物需要处理，水泥固化是目前大部分核设施营运单位废物处理的主要工艺。

目前我国采用水泥固化工艺处理放射性废物的核电厂有秦山核电厂、三门核电厂、方家山核电厂、福清核电厂、海南核电厂、大亚湾核电厂、岭东核电厂、阳江核电厂、宁德核电厂、红沿河核电厂、防城港核电厂、台山核电厂等。科研院所和高校包括中国辐射防护研究院、中国原子能科学研究院、中国核动力设计院、清华大学、西南科技大学等也建有水泥固化装置处理本单位设施运行或科研过程中产生的废物。

核设施营运单位、科研院所及高校在放射性废物水泥固化体性能检验、放射性废物水泥固化配方研发及改进过程中均参照《低、中水平放射性废物固化体性能要求 水泥固化体》（GB14569.1-2011）进行采（制）样和性能检验，包括核设施废物水泥固化工艺系统在工程调试、运行期间分别对模拟/真实放射性废物水泥固化体进行的性能检验和评估；科研院所和高校在实验室阶段分别对模拟/真实放射性废物水泥固化配方研发及改进制备产生的固化体进行性能检验和评估。GB14569.1-2011 标准要求适用的废物类型包括浓缩液、废树脂、淤泥、活性炭和焚烧灰等。

2 任务来源

GB14569.1-2011 自实施以来，已广泛应用于核电厂、核燃料循环设施以及相关科研单位中的放射性废物水泥固化体性能检验，在放射性废物水泥固化体的性能评估和质量安全控制方面发挥了重要作用。同时，随着技术的进步和处置要求的不断提高，该标准在低水平放射性废物水泥固化体性能检验应用过程中存在的问题也逐步显现，为持续加强放射性废物安全监管，完善核与辐射法规标准体系，2022年5月17日，辐射源安全监管司下达工作任务单（三司工作单[2022]196号（废）），要求生态环境部核与辐射安全中心与中国辐射防护研究院共同对GB14569.1-2011的实际应用情况进行回顾性评估，评估报告进一步明确了标准修订的必要性，开启了标准修订的准备工作。目前GB14569.1-2011修订工作已经立项（编号为2024-55）。

3 工作过程

截至目前，已开展如下GB14569.1-2011执行评估和修订前期准备的相关工作：

（1）GB14569.1-2011应用情况评估

2022年5月，生态环境部核与辐射安全中心（以下简称“中心”）与中国辐射防护研究院收集了自标准实施以来十余年的国内核电厂和其他核设施放射性固体废物处理系统产生废物水泥固化体性能检

验结果；调研分析了国内外相关标准要求，完成了评估报告的编写和专家评审，并于 2022 年 6 月向辐射源安全监管司提交了评估报告。报告进一步明确了 GB14569.1-2011 修订的必要性，并提出了包括抗冲击性、抗冻融、耐辐照和抗浸出试验条件要求等的具体修订内容。之后，由中心牵头，联合中国辐射防护研究院、中核清原环境技术工程有限责任公司和甘肃龙和环保科技有限公司等成立了标准修订联合工作组，启动标准修订准备工作，包括标准修订草案研究和性能试验研究。

（2）标准修订研究

2022 年 07 月，联合工作组在标准应用情况评估报告的基础上，对标准待具体修订内容开展进一步研究，编制完成《低、中水平放射性废物固化体性能要求 水泥固化体》（GB14569.1-2011）修订单（初稿）及编制说明。工作组就标准的修订问题，进行了充分讨论并广泛听取了业内的意见。

2022 年 10 月，联合工作组在标准修订单（初稿）的基础上，制定了标准修订工作计划，包括标准修订需开展的专题研究。2023 年 01 月，以线上的形式，开展了专题研究进展交流，进一步讨论了待修订的条款内容。2023 年 06 月，根据专题研究结果，编制完成 GB14569.1-2011 修订草案和编制说明初稿，并相应的开展实验验证工作。

根据标准修订专题研究内容要求，开展并完成了以下性能检验研究：

- 1) 固化桶中钻孔取芯样品和采集样品抗压强度、抗冻融、抗浸泡性能验证；
- 2) 采集样品固化体冻融条件修改验证；
- 3) 采集样品废树脂固化体微生物腐蚀试验；
- 4) 历年抗浸出率 42d 和 1 年数据比较分析。

（3）开题论证会

2024 年 1 月，标准修订工作组在基本完成实验验证的基础上，编制完成 GB14569.1-2011 修订的开题报告和标准修订草案。辐射源安全监管司组织召开了标准修订的开题论证会。与会专家一致同意标准修订工作，认为开题报告材料充分、内容完整系统；提出的标准草案与现有法规标准协调一致。专家会建议对标准草案进行进一步完善后，形成征求意见稿（初稿）并及时报送。根据会议意见，标准修订工作组对 GB14569.1-2011 修订的开题报告和标准修订草案进行修订。2024 年 03 月，工作组召开了标准征求意见稿和编制说明（初稿）内部讨论会，会后正式完成了征求意见稿（初稿）。

（4）征求意见稿技术审查会

2024 年 7 月，辐射源安全监管司组织召开了标准征求意见稿技术审查会。会议审查通过了标准征求意见稿初稿，建议进一步完善征求意见稿后及时开展征求意见工作。专家还建议，1.明确标准适用范围是否覆盖中放水泥固化体；2 梳理性能检验批次内容及增加各阶段性性能检验要求附表。会后标准修订工作组对 GB14569.1-2011 修订的征求意见稿（初稿）和编制说明进行修改完善。8 月，提交 GB14569.1-2011 修订的征求意见稿和编制说明。

二 标准修订必要性分析

1 GB14569.1-2011 标准使用过程中存在的问题

标准在使用过程中存在以下问题。

(1) 对工程规模试验样品制备指导性不强

我国水泥固化线有桶内和桶外搅拌两种搅拌方式。在整套装置安装完成后，需要调试设备的功能和验证水泥固化配方的适用性，称之为工程规模模拟废物调试阶段。模拟废物调试完成后，方可进行放射性废物固化处理，但由于模拟废物与真实废物的性质差异，在放射性废物固化处理的开始阶段，仍需取样进行固化体性能测试，称之为工程规模真实废物调试阶段。调试阶段产生的废物体称为工程规模试验样品。GB14569.1-2011 未明确给出工程规模试验样品的制备和测试要求。

(2) 对于工程规模样品均匀性要求不明确

GB14569.1-2011 的 5.2 “机械性能在室温、密闭条件下，经过养护、完全硬化后的水泥固化体，应是密实、均匀、稳定的块体”。实践中，均匀性验证过程是将 200L 或 400L 固化体剖开，目视观察截面是否密实、均匀。该性能要求和检验方法不明确，判断上存在分歧。

(3) 抗冲击性能要求不合理

GB14569.1-2011, 5.2 b) 抗冲击性能 “从 9m 高处竖直自由下落到混凝土地面上的水泥固化体试样或带包装容器的固化体不应有明显的破碎”，实际过程中的实验数据很难满足。上述抗冲击性的要求是针对放射性废物运输过程中发生交通事故对放射性废物包性能的影响，考虑 9 m 高坠落试验是模拟 50 km/h 速度行驶的车辆翻车时的情景。这一要求与《放射性物品安全运输规程》(GB11806-2019) 中相关条款不一致。

(4) 浸出率试验时间过长

GB14569.1-2011 的 6.3.1 要求：浸出试验应遵照 GB/T 7023 中的有关规定进行。

GB/T 7023 规定，浸出剂体积 (cm³) /样品总表面积 (cm²) = (10±0.2) cm，静态浸出，浸出温度为 25℃±2℃时，浸出试验至少进行 1 年，40℃±2℃时至少进行 6 个月。GB/T7023 还提供了短期试验。

浸出试验开展 1 年，合格后才能开展下一阶段工作。这个时间将会影响工程“三同时”的完成，或影响工期。

(5) 冻融循环条件不保守

GB14569.1-2011 要求冻融循环 5 次后测试，测试温度为-20℃到 20℃。

我国的处置场主要位于我国西北，其极端温度最低约-35℃，最高气温约 40℃。水泥固化体在处置设施存放期间，最多可经历 60 次冻融。GB14569.1 规定的冻融循环条件较处置场条件是不保守的。

(6) 试验操作方式需改进

GB14569.1-2011 关于“立即放在 15℃~20℃的水槽中融解”，目前冻融循环试验箱可实现全自动冻融和融解。

GB14569.1-2011 关于“水泥固化体试样封装在玻璃管中”，玻璃管易碎，不符合辐照设施要求。

2 标准修订的目的

针对上述问题，工作组认为开展 GB14569.1-2011 的修订是必要的，标准的修订预期达到以下目的。

（1）提升标准的可实现性和可操作性

GB14569.1-2011 自实施以来，部分条款的可实现性和可操作性需要进一步修订，如抗冲击性要求，耐辐照试验操作方法，抗浸出性试验周期等。

（2）提升标准对实际工程规模试验的指导性

GB14569.1-2011 第 6.2.1 款规定了固化体样品制备方法，要求明确实验室配方研发和工程固化处理过程中实验室尺寸标准样品的制备方法。但是，对工程规模全尺寸样品通过切割和取芯方式制备标准样品或开展均一性检查，并没有做出详细要求。而国内核电厂水泥固化系统评估中，已开展了大量工程规模全尺寸非放射性模拟样品的切割均一性检查，通过取芯制备性能测试所需标准样品并开展性能检验的实践工作。这些实践工作经过规范化整理和改善后，可作为本次修订的增加条款，进一步提升对实际工程规模试验的指导。

（3）提高标准的准确性和针对性

GB14569.1-2011 规定了性能要求和对应的性能测试方法，其中部分性能要求和试验方法需要进行修订和完善，以提高标准执行的准确性和针对性。如冻融试验条件的要求无法涵盖不同区域处置场的实际环境条件。缺少对工程规模全尺寸水泥固化体均匀性的检验方法。

三 国内外相关标准情况

为了满足处置场废物接收准则，美国、法国和俄罗斯监管当局均制定了废物固化体性能要求的相关规范或标准。

美国核安全监管局（NRC）发布了水泥固化体技术见解《Waste Form Technical Position》（Rev1，1991，以下简称《NRC 技术见解》）。法国监管当局发布了法国放射性废物（固、液）的生产控制及处理规程《Regles fondamentales sûreté relatives aux installations nucléaires de base autres que reacteurs》第 III.2.e（以下简称《法国废物规程》）。俄罗斯核安全主管部门发布了废物贮存和处置接受准则《Waste Acceptance Criteria for Storage and (or) Disposal Requirements of the Safety Regulatory Authority》（以下简称《俄罗斯废物接收准则》）。

国内相关标准包括：《低水平放射性废物包特性鉴定—水泥固化体》（GB 41930-2022），《低、中水平放射性废物固化体标准浸出试验方法》（GB/T 7023-2011），《低、中水平放射性固体废物包安全标准》（GB12711-2018）。

四 拟采用的原则、方法和技术路线

1 拟采用的原则

(1) 提升协调性

与我国新颁布的法规、标准及核安全审评的要求相协调。比如与核安全法 42 条所述，废物要处理成标准稳定化的固化体相协调；与 GB9132-2018 第 5.1 节废物体特性要求相协调。

(2) 确保可行性

标准应具有普遍性和可操作性，更易于推广使用。比如抗冲击性、抗浸出试验时间要求、耐辐照等检验方法的修订。

(3) 增强实践指导性

基于指导工程实践为目的，修订本标准。比如增加了工程规模样品的制备方法。

(4) 提高精准性

基于实事求是的原则，修订本标准。比如修订冻融试验条件，使其更接近真实处置环境；均匀性规定采用更明确的表征方法。

(5) 尊重先行版本成果

现行的 GB14569.1-2011 的试验方法和测试指标也是经过多年试验和实践验证。修订尽量采用原有表述，只针对经过评估和讨论确定的具体条款进行修改和完善。

2 拟采用的方法

本标准修订采用以下方法：

(1) 本标准格式遵循《国家生态环境标准制修订工作规则》（国环法规〔2020〕4号）以及《标准化工作导则—第1部分：标准化文件的结构和起草规则》（GB/T 1.1-2020）《环境保护标准编制出版技术指南》（HJ565-2010）等的相关要求，开展该标准修订工作。

(2) 基于相关的国家的法律、法规、标准（GB）、行业标准（HJ、EJ）开展该标准修订工作。GB14569.1-2011 实施以来，国内与之相关的核与辐射安全法规和标准等陆续发布实施。其中《中华人民共和国核安全法》（2018）、《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）、《低、中水平放射性固体废物包安全标准》（GB12711-2018）、《低、中水平放射性固体废物近地表处置安全规定》（GB9132-2018）、《低水平放射性废物包特性鉴定—水泥固化体》（GB 41930-2022）等对废物分类、废物性能、废物包性能等提出了最新要求。这些法规、标准的发布实施为本次修订工作提供了重要的依据。

(3) 参考国外低、中水平放射性废物水泥固化体的性能要求开展该标准修订工作。借鉴国外技术见解或规范修订 GB14569.1-2011，如参考《NRC 技术见解》、《法国废物规程》和《俄罗斯废物接收准则》。

(4) 开展必要的试验数据收集分析和必要的试验验证。中国辐射防护研究院开展了大量的水泥固化体性能检验，对于 GB14569.1-2011 中抗跌落试验、浸出率试验等条款的修改可以在分析前期的试验数据基础上进行。对于一些修改缺乏数据支持，则开展必需的补充试验验证，如工程规模制样、冻融试验，为标准修订提供支撑。

(5) 专家咨询。对 GB14569.1-2011 中某些重要修改，采取咨询行业内专家意见，讨论确定最终修订内容。

3 技术路线

标准修订技术路线如图 4-1 所示。首先对开展 GB14569.1-2011 实施以来的技术评估，分析存在问题，提出条款的修改意见，进行专家咨询或开展必要试验验证，形成修订草案之后，按照标准编写流程，依次形成修订征求意见稿、送审稿和报批稿直至最后发布。

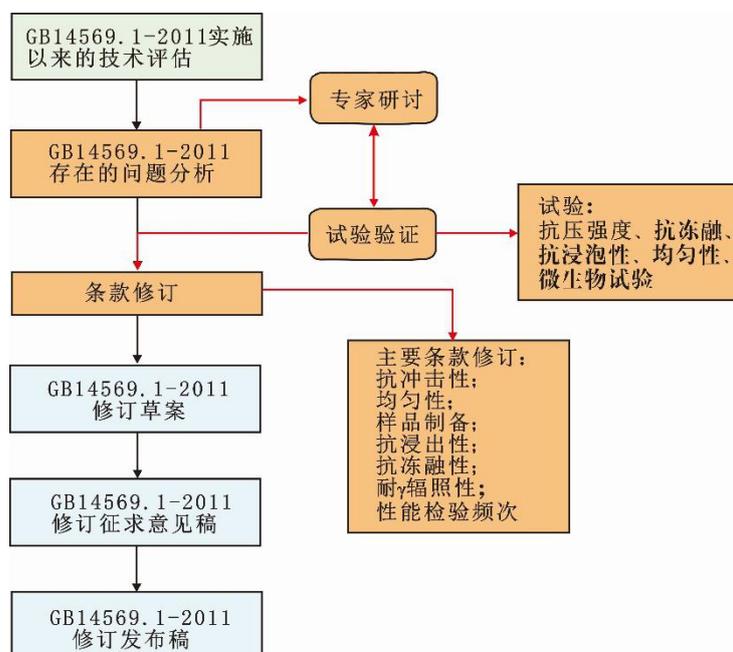


图 4-1 GB14569.1-2011 修订技术路线

五 标准主要技术内容

GB14569.1-2011 版与本修订版章节框架内容比较见表 5-1。

表 5-1 标准修订前后的框架结构对比

GB14569.1-2011	征求意见稿
前言	前言
1 适用范围	1 适用范围
2 规范性引用文件	2 规范性引用文件
3 术语和定义	3 术语和定义
4 水泥固化体放射性活度浓度限值	4 水泥固化体放射性活度浓度限值

5 性能要求	5 性能要求
6 性能检验方法	6 性能检验方法
	7 性能检验频次
	附录 A (规范性附录) 水泥固化体不同阶段的样品制备方法和性能检验项目

本次修订将《低、中水平放射性废物固化体性能要求》(GB14569.1-2011)的名称修改为《低水平放射性废物固化体性能要求》，主要删除了抗冲击性能，新增了生产线样品制备、均匀性等条款，就适用范围、冻融性能等条款进行了补充完善。经修改后的标准主要技术内容如下。

1 适用范围

在适用范围一章，因大体积水泥浇注固化放射性废物的方式和当前国内使用的废物水泥固化工艺不同，本标准删除了“大体积水泥浇注固化体除外”。

2 规范性引用文件

在规范性引用文件部分，更新了引用标准和文件。删除了与本标准无关的《放射性物品安全运输规程》(GB11806-2019)的引用。

3 术语和定义

术语和定义部分未进行修改。

4 水泥固化体放射性活度浓度限值

根据放射性废物分类法规文件的变化，修改了本标准中水泥固化体放射性核素活度浓度限值的表述。修订为“应满足 GB 9132 和《放射性废物分类》中低水平放射性废物的有关要求”。

5 性能要求

(1) 合并修改了“应满足 GB 9132 和 GB 11806 的有关要求”表述

本标准本次修订，是以处置为核心的来考虑水泥固化体的性能要求，因此在性能要求部分，将原表述“水泥固化体的性能应满足 GB 9132 和 GB 11806 的有关要求”中“满足 GB9132”的表述，纳入“4 水泥固化体放射性活度浓度限值”，同时，删除了对 GB11806 的引用。

(2) 调整了关于机械性能的表述

GB14569.1-2011 中原有关于水泥固化体 9m 跌落试验的要求。该要求是在 GB11806-2019 未发布时提出的，针对放射性废物运输过程中发生交通事故的假设情景、对放射性废物包性能的要求。目前，GB11806-2019 对各种类型的放射性物品运输已有系统规定，GB14569.1-2011 中规定的 9m 跌落试验与

GB11806-2019 的要求不一致，因此本次修订删除了这一条款。以便废物包将来可以执行 GB11806-2019 中运输要求。

根据实践经验，水泥固化体均匀一致也是确保其性能的重要内容，因此本章中新增了“在室温、密闭条件下，经过养护、完全硬化后的水泥固化体应是均匀的，水泥固化体钻孔取芯样品的抗压强度偏差不超过 20%。”的要求。

6 性能检验方法

本次标准的修订，重点突出实践中的可操作性。因此对“6. 性能检验方法”一章，根据实践经验反馈，进行了主要修改。主要修改内容如下。

(1) 在 6.2.1 样品制备节，增加了实验室样品制备和生产线样品采集的要求。

GB14569.1-2011 规定，在水泥-废物固化前取样，浇注在模具中，进行标准化养护后检验性能。这种样品制备方法未考虑工程规模样品温升和室温养护条件对固化体的影响。工程规模样品采用钻孔取样考虑了这种影响，并可以与实验室配方研究的样品性能进行比对。

在本次修订过程中，对两种制备方法制得的样品进行了性能检验。结果表明，在 200L 桶采集样品和钻孔取芯样品的抗压强度、冻融后、辐照后和浸泡后的抗压强度及损失均满足 GB14569.1-2011 的要求的前提下，采集样品抗压强度是钻孔取芯样品的 1.56 倍；冻融后、辐照后和浸泡后抗压强度，采集样品与钻孔取芯样品的比值为 1.53~1.64 之间。说明两种不同的制备方法的样品抗压强度有较大差异。参考国际经验，NRC 技术见解和法国废物规程在样品制备中，均给出了钻孔取样建议。并且，在工程规模样品上均匀分布取样测量也可以定量评价固化体均匀性。所以本次修订中增加了工程样品的取样要求，以规范工程实践并使全行业使用统一的方法。

(2) 删除了 6.2.3 节“抗冲击性”性能检验方法

因为抗冲击性能在本标准修订中不作要求，故删除了 6.2.3 节“抗冲击性”性能检验方法

(3) 新增了均匀性检验方法条款

因为均匀性在本标准修订中给出了要求，在工程规模样品上均匀分布取样测量可以定量评价固化体均匀性。因此增加了均匀性检验方法。

(4) 6.3.1 节新增了“当核素第 42d 浸出率和累积浸出分数满足 5.3.1 要求时，可开展后续工作。”的条款

按 GB/T7302 要求，浸出试验必须进行一年，过长的试验周期不利于开发固化体配方和调试固化工艺设施。国际上，已有标准认为，浸出时间的选择可以考虑浸出指标随时间稳定的适当时间（如法国的废物规程）。工作组因此对历史数据进行了分析，当样品满足 42d 的浸出指标时，在 90 天后，核素浸出率趋于稳定，浸出率未发现大的波动变化，说明固化体未发生大的浸出机理变化。所以认为浸出率开展 42 天后，满足相应指标要求，就可以开展工程规模调试等工作。

(5) 修改了 6.4 节抗冻融性的条款

目前，我国实际开展放射性废物水泥固化体处置的主要处置设施最高气温 40.5℃、最低气温 -35.1℃。根据以上气象条件，考虑冻融循环温度范围、循环次数。水泥固化体处置后，冻土层深度约 1.2-1.4 米，经砂浆浇注、封顶、覆盖后，水泥固化体所处深度低于冻土层，故可认为不发生冻融。水泥固化体运抵处置场至最终处置，根据处置工作经验，在设施内存放时间不超过 2 个月。全年日均最高气温高于 0℃ 月份为 3-10 月，日均最低气温低于 0℃ 的月份为 10 月-次年 3 月，即预计满足冻融循环条件天数约 5 个月（150 天）。保守情况认为水泥固化体在处置设施存放恰好在这 5 个月内，最多可经历 60 次冻融。

工作组开展了冻融性能验证试验，结果表明，将冻融温度从“-20℃冷冻，20℃解冻”调整至“-35℃冷冻，40℃解冻”，经 5 个循环后，固化体样品抗压强度未出现损失，且 6 个样品平行性满足要求；经 30 个循环后，固化体样品抗压强度出现损失，损失为 0.22%，且 6 个样品平行性满足要求。

国际上，俄罗斯废物接受准则 5.2.1 节和 NRC 技术见解附录 A、C 节规定的均为冻融试验要经历 30 个循环。

实验条件下的冻融循环试验是加速冻融循环，比处置场现场的自然冻融循环破坏性更强。

因此，根据我国处置场处置环境和处置工艺条件，修改了冻融循环的试验温度和次数。即在 6.4 抗冻融性一节，增加“冻融试验在冻融循环试验箱中进行”；将“当箱内温度重新降至 -20℃ 时”修改为“当箱内温度重新降至 -35℃ 时”；将“冻结温度应保持在 -20℃ ~ -15℃”修改为“冻结温度应保持在 -35℃ ~ -30℃”；将“冻结完毕后立即在 15℃ ~ 20℃ 下融解”修改为“冻结完毕后立即在 35℃ ~ 40℃ 下融解”；将“进行 5 次冻融循环”修改为“进行 30 次冻融循环”。

(6) 对耐 γ 辐照性能修改

耐 γ 辐照性能试验，考虑的是对剂量率和累积剂量的影响。不宜规定具体封装材料，根据实践反馈，删除了耐 γ 辐照性能试样需使用玻璃管封装的要求。

7 性能检验频次

实践表明，为了保证生产出符合要求的水泥固化体，需要合理的配方和可靠的工艺设备。为此需要在实验室开展配方研究和现场调试工艺设备的可靠性。工作组对近二十年来的实践进行了分析，为了确保水泥固化体性能，提出了不同阶段应开展的样品制备方法和性能检验内容，这是根据实践对水泥固化体性能检验的优化。本次修订增加了性能检验频次一章，指出不同阶段要开展的工作。

8 附录 A

附录 A 为规范性附录，将第七章的样品制备和性能检验要求具体化。根据目前的实践，划分出实验室配方研究、工程规模模拟废物检验、工程规模真实废物检验、十年定期检验四个阶段，对每个阶段开展水泥固化体样品制备和检测的项目做出规定。

9 实践中具体问题的进一步解释

本标准在修订中未增加对以下内容的修订。

(1) 耐微生物降解

本标准修订过程中未考虑耐微生物降解。理由如下：

生物降解所需的必要条件包括环境中存在有机质、液态水和微生物源，并具备适宜的温度、pH 值。因此，微生物对砼的腐蚀作用多发生于城市下水管道等环境。废树脂水泥固化体含有有机质，工作组参考国家标准《塑料防霉性能试验方法》(GB/T 24128-2009)对此类固化体样品进行了黑曲霉、绿粘帚霉、球毛壳霉、出芽短梗霉和生状青霉菌生长试验。同时在培养基样品开展对照试验。通过实验数据表明，经过 28 天培养后这五种霉菌在固化体样品上没有生长情况，属于 0 级；而作为对照组，五种霉菌在相应培养基的生长经过 10 天培养均可达到 4 级。由此可以推断水泥树脂固化体环境并不适宜微生物生长，可能缺少应有的湿度和酸碱环境。

(2) 危险废物

对于危险废物在 GB14569.1 修订中的体现有以下看法。

本标准对危险废物的限制，主要通过参照《低、中水平放射性固体废物近地表处置安全规定》(GB 9132-2018)的有关要求执行。GB 9132 的 5.1.3 节规定了“废物包内不应含有以下物质：a) 易爆或在常温常压下易于发生剧烈的分解或反应，或者与水或空气接触能产生猛烈反应的物质；b) 自燃、易燃物质；c) 强腐蚀性物质；d) 未经处理的动物尸体和含病原体物质；e) 非放射性剧毒物质；f) 含有或可能产生对运输、装卸或处置工作人员带来有害影响的有毒气体、蒸汽或烟雾。”

《危险废物处置工程技术导则》(HJ 2042-2014) 危险废物是指列入国家危险废物名录或者根据国家规定的危险废物鉴别标准和鉴别方法认定的具有腐蚀性、毒性、易燃性、反应性和感染性等一种或一种以上危险特性，以及不排除具有以上危险特性的固体、液体或其他形态的废物。根据危险废物定义，GB 9132-2018 的 5.1.3 已给出了相关要求，因此在 GB14569.1 中不再重复要求。

六 与国内外同类标准或技术法规的对比和分析

1 国外标准分析比较

GB14569.1-2011 本次修订内容与国际上的有关标准基本保持一致的水平。

(1) 关于样品的制备

《NRC 技术见解》指出：如果使用实验室尺度的小模拟样品进行实验（抗压、浸泡等实验），则应获得全尺寸（full-scale）废物产品断面（sections）或芯部（cores）样品的试验数据，以建立实验室模拟试验样品与实际尺度废物产品特性间的相关关系。

《法国废物规程》第 5.2 节规定了样品制备方法有 1) 在合格试验环境和条件下的各种成分比例适当来制备的样品，2) 直接从废物包生产线随机采集。指出小尺寸样品可以来自：1) 在实验室制备；2)

在废物包生产线上固化前采集水泥浆制得；3）从固化废物体中钻芯采集。规程要求工程规模的样品需要在废物包生产线上采集。

法国实践中开展了较多的全尺寸放射性固化包的破坏性性能测试，所以对工程规模全尺寸样品作了要求。

（2）关于废物体均匀性的要求

《NRC 技术见解》指出：对取自全尺寸工程规模试验样品应进行破坏性分析，确保产生的产品均匀到这样的程度：产品中的所有区域的抗压强度均能代表实验室尺寸样品试验中所测定的抗压强度。

（3）关于抗冲击性能

《NRC 技术见解》、《法国废物规程》和《俄罗斯废物接收准则》均无抗冲击性能的考虑或规定。

GB14569.1-2011 中关于抗冲击性要求沿用了 GB14569.1-1993 版的规定，抗冲击性能要求是针对放射性废物运输过程中发生交通事故对放射性废物货包性能的影响，9 m 高坠落试验是模拟 50 km/h 速度行驶的车辆翻车时的情景，本次修订后删除，与国际惯例一致。

（4）关于抗冻融性

《NRC 技术见解》要求在-40℃~60℃温度范围内冷热循环试验 30 次，样品的抗压强度不小于 500 psi (3.45MPa)。《法国废物规程》规定废物体在温度介于-20~5℃之间，循环试验 5 次，再在温度介于 5~40℃之间的循环试验 5 次。《俄罗斯废物接收准则》规定水泥固化体经历 30 次冻熔循环实验后(-40~+40℃)，的机械强度不能小于 50 kgf/sm² (4.9MPa)。

（5）关于浸出性试验

《NRC 技术见解》指出，美国 ANS16.1 规定的浸出试验的周期是最少 90d。比较水泥固化体 5d 和 90d 的浸出数据，表明对于多数试样来说，5d 和 90d 的浸出指数之间的百分数差是比较小的；综合上述事实，NRC 技术见解认为，对于水泥固化废物体来说 5d 的浸出试验是充分的。《法国废物规程》规定，浸出实验操作的时间应该满足浸出实验特定核素释放速率在时间上基本达到稳定状态。第一次实验操作不超过 15d，而完成整个浸出实验不超过 365d，实验只要获得了合理的浸出实验结论数据，可以缩短实验整体时长。

（6）关于性能检验频次

法国 ANDRA 对处置中心接收的废物，每年进行检查，检查次数近 60 次。这些检查在分布于 42 个场址的 300 个废物生产单位进行。废物包的检查分为三个阶段：一是对废物生产单位提供的废物包数据进行计算机管理；二是实施跟踪系统来确保所有的废物包满足废物包的质量、大小，废物特性以及主要核素的活度要求；三是对废物包的非破坏性检测和破坏性检测。自 2000 年，每年检查验证的废物包约 150 个，其中抽取 10 个以内货包开展破坏性检测。

（7）小结

本次标准的修订内容在样品的制备条款内容上与美国、法国标准水平具有一致性；均匀性条款与美国标准水平具有一致性；抗冲击性条款与美国、法国、俄罗斯标准水平具有一致性；抗冻融性条款与美

国、俄罗斯标准水平具有一致性；抗浸出性条款与美国、法国标准水平具有一致性。

2 国内标准分析比较

国内与 GB14569.1 标准相关的标准主要有《低水平放射性废物包特性鉴定—水泥固化体》(GB 41930-2022)和《低、中水平放射性废物固化体标准浸出试验方法》(GB/T 7023-2011)。以下就 GB14569.1 修订的内容进行比较。

(1) 样品的制备

《低水平放射性废物包特性鉴定—水泥固化体》(GB 41930-2022)标准未对样品制备提出具体要求，只提及在废物体形成过程中，通过旁路取样或实验室模拟制样，满足废物体性能要求。

《低、中水平放射性废物固化体标准浸出试验方法》(GB/T 7023-2011)提及样品的制备，浸出试验样品可以在实验室制备，也可以取自实际废物固化体，并介绍了实验室制备样品与实际废物固体样品的具体操作流程。

(2) 均匀性

《低水平放射性废物包特性鉴定—水泥固化体》(GB 41930-2022)标准中指出，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。《低、中水平放射性固体废物包安全标准》(GB12711-2018)规定容器内盛装的废物应尽可能密实化和充满容器。

(3) 抗冲击性能

《低水平放射性废物包特性鉴定—水泥固化体》(GB 41930-2022)的抗冲击性能执行 GB14569.1 有关规定。

(4) 抗冻融性

《低水平放射性废物包特性鉴定—水泥固化体》(GB 41930-2022)水泥固化体抗冻融性测试，应符合 GB 14569.1 的规定。

(5) 抗浸出性

GB14569.1-2011 规定浸出试验应遵照 GB/T 7023-2011 中的有关规定进行。GB/T 7023-2011 规定了在浸出温度为 $25^{\circ}\text{C}\pm 2^{\circ}\text{C}$ 时，浸出试验至少进行 1 年，附录中规定了类似《NRC 技术见解》要求的方法。

《低水平放射性废物包特性鉴定—水泥固化体》(GB 41930-2022)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。

由上可知，GB 41930-2022 条款内容主要依照 GB 14569.1 执行。

(6) 性能检验频次

《低水平放射性废物包特性鉴定—水泥固化体》(GB 41930-2022) 4.1.3 “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”。以上要求与本标准要求一致。

(7) 小结

国内标准未对水泥固化体样品制备提出具体要求，本标准修订内容将样品制备条款具体化；均匀性条款相比 GB 41930-2022 条款内容更具有可操作性；抗冲击性能、抗冻融性、抗浸出性条款内容随着本标准的修订，GB 41930-2022 条款内容将相应按照本标准执行；性能检验频次条款与 GB 41930-2022 条款内容具有一致性。

七 实施本标准的管理措施、技术措施、实施方案建议

标准工作组对历年来收集的水泥固化体试验数据进行了统计和分析，有针对性的开展了试验验证，对国际经验进行了整理和比较，根据实践经验和法规标准的发展，对标准进行了修订。

1 管理措施建议

本标准颁布实施后，应及时开展标准的宣传和贯彻。标准颁布实施后，在废物管理相关审批、监督时，要严格按照标准要求执行，要强化业主单位的主体责任。在标准使用过程中，如发现问题应及时向生态环境部反馈，以利于本标准的修改完善。在国家相关的法律、法规进行重大调整，相关的技术标准发生较大变化时，应及时组织修订本标准，以适应不断深化的环境管理要求。

2 技术措施建议

标准颁布实施后，应及时开展对核设施营运单位、设计单位的培训，编制相对应的培训材料和相关教材，使营运单位、设计院、相关承包商能够准确掌握和应用标准。重视标准使用过程中出现的各种技术问题，及时组织有关单位、从业人员和专家学者进行研究和讨论，解决实践中遇到的问题，以完善放射性废物管理工作。