

《低水平放射性废物包的特性鉴定

(征求意见稿) 编制说明

1、项目背景

放射性废处置贯彻“纵深防御”、“多重屏障（天然屏障和人工屏障）”的安全理念，实现放射性核素与生物圈的有效隔离。在长期处置过程中，废物包作为限制放射性核素逸出的第一层屏障，其性能好坏直接影响着废物的处置安全。根据国际原子能机构的研究和美国、英国、法国等国家的低水平放射性废物处置的实践，在处置场环境固有安全性、工程屏障安全基础上，对废物包安全性要求包括以下方面：待处置废物的要求、废物包稳定性要求、废物包含水率（游离液体）和废物包的填充率。用以规范我国低水平放射性废物处置场运行的《低、中水平放射性固体废物近地表处置安全规定》（GB 9132）对废物包的性能提出了原则性要求，基本上涵盖了上述内容。

《低、中水平放射性固体废物近地表处置安全规定》（GB 9132）同时代替了《放射性废物近地表处置的废物接收准则》（GB 16933-1997），并提出不同处置场可依据实际情况制定相应的接收管理办法，理顺了废物处置环节的管理。但《低、中水平放射性固体废物近地表处置安全规定》（GB 9132）和处置场接收文件之间缺少了有效连接，即处置场的技术要求如何反应在废物整备

实践上，如何验证拟送往处置场的废物满足处置要求，还需要有系列标准、导则、规范等的支撑，如废物包特性鉴定、废物包检验程序、废物包的无损检测、高完整性容器等。《低水平放射性废物包的特性鉴定》作为《低、中水平放射性固体废物近地表处置安全规定》（GB 9132）配套实施的系列标准之一，从废物处置安全角度，提出了废物包基本性能要求和检验方法，为废物产生单位、废物接收单位、研究设计单位和审管部门提供统一的、规范的低水平放射性废物包特性评判依据。

废物体（包）的安全性检验指标一般包括物理稳定性、化学稳定性、热稳定性、辐照稳定性和生物稳定性等。国际原子能机构（IAEA）在总结成员国废物包管理实践的基础上，提出了具有普适性的废物包技术要求及其对应的性能检验方法。我国也在2005年发布了核行业标准《放射性废物体和废物包的特性鉴定》（EJ 1186）。该标准涵盖了除乏燃料外的所有废物体与废物包的性能要求及鉴定方法，作为放射性废物管理标准体系的一部分，一直发挥着十分重要的作用。但其中部分内容与方法已经不能满足目前废物整备工作要求，如其中引用的塑料固化体和沥青固化体性能要求标准已废止，水泥固化体等标准已完成修订等等。此外，2018年实施的《放射性废物分类》对“低水平放射性废物”的定义也与我国以往法规标准中“低水平放射性废物”有很大的不同，是指所有能进入近地表处置设施废物，涵盖核设施（包括核电厂）运行、退役过程中产生的大多数废物；新的“低水平放射性废物”不但涵盖了以往法规标准的低水平放射性废物，还包括以往法规标准中中放废物的一部分。这些变化均对适用于低水平放射性废物包的技术要求与对应的特性鉴定方法建立提出了

迫切要求。

因此，本标准以低水平放射性固体废物处置要求为导向，参考国际原子能机构和美国、英国、法国等国有关废物体、废物包技术的相关论述，考虑与国内现行的废物整备、包装、运输、处置等标准的有效衔接，研究提出了低水平放射性废物体、废物包的技术要求及对应的检验方法。

2、工作过程

2017年6月，原环境保护部以《环境保护项目任务合同书》委托中国工程物理研究院材料研究所（以下简称材料所）开展标准《放射性废物体和废物包特性鉴定》的制订工作。材料所接到任务后，首先开展了国内放射性废物管理标准体系的调研，初步确定了标准的定位、用途及应该关注的主要内容。邀请中核四川环保工程有限责任公司、中核四〇四有限公司、中广核工程设计有限公司和中国辐射防护研究院共同成立了编制组，并制定了标准编制计划，开展了标准初稿编制工作。

2017年9月，标准编制组主要成员在绵阳与原环境保护部相关专家进行了标准编制思路交流，汇报了标准资料调研、梳理情况和标准编制框架，初步确定以“服务于低水平放射性废物处置”为总体思路开展标准编制。编制组参照《放射性废物体和废物包的特性鉴定》（EJ 1186）和美国联邦法规、IAEA等的相关要求，梳理了低水平放射性废物处置中对废物包、废物体的性能要求，确定了标准主要内容。2017年11月完成了标准草稿的起草。

2017年12月20日，标准编制组在四川江油组织召开了《放

射性废物体和废物包的特性鉴定》(标准初稿)的讨论会,并邀请相关专家进行了技术咨询。会议对标准的结构框架、适用范围、主要技术内容和技术指标进行了讨论,确定了如下主要编制建议:一是在 IAEA 相关技术文件的框架内,结合我国目前放射性废物包的技术现状,提出合理的技术要求及其对应的检验方法;二是参考《放射性废物体和废物包的特性鉴定》(EJ 1186)的主要内容,适当聚焦近地表处置废物包的要求;三是技术指标一定要根据我国目前放射性废物整备技术实践的成果,“合理可行”、操作性强。会后,编制组进一步梳理了会议意见,对标准初稿进行了修改。

2018年1月,标准编制组主要成员再次与环境保护部相关专家就标准初稿的编制情况进行了交流。与会专家再次就本标准的定位、使用目的进行了探讨,一致认为应回归到“低水平放射性废物包的处置”上,与《低、中水平放射性固体废物近地表处置安全规定》(GB 9132)一起,为低水平放射性废物的近地表处置提供技术支撑。会后,标准编制组成员进一步调研了美国低水平放射性废物管理的法规及技术要求、配套标准的使用情况,对照国内目前的标准体系及废物处理、整备、包装等实际情况,反复协商,对标准初稿进行了修改。2018年6月,形成了国家标准《低水平放射性废物包的特性鉴定》(征求意见稿初稿)。

2018年6月29日,标准编制组在四川江油组织召开了《低水平放射性废物包的特性鉴定》(征求意见稿初稿)审查会。与会专家、同行就标准主要内容及可实施性进行了分析,特别是“不均匀废物的技术要求指标”、“废物包特性鉴定与其产生过程的关

系”、“废物包特性鉴定的程序与规则”等问题进行了深入讨论，并提出了具体的标准修改建议。会后，编制组成员认真梳理了相关意见与建议，并进一步与与会专家进行沟通、说明，完成了国家标准《低水平放射性废物包的特性鉴定》征求意见稿初稿。

2018年9月7日，标准编制组召开了国家标准《低水平放射性废物包的特性鉴定》（征求意见稿初稿）专家咨询会。与会专家听取了标准主编单位关于标准的编制背景与主要依据，标准征求意见稿初稿的主要技术内容和编制工作过程的汇报，并就本标准与GB 9132的关系、标准适用范围、标准主要内容与框架、标准需重点解决的问题等进行了探讨。会后，编制组成员完成了标准的征求意见稿。

3、编制依据及原则

（1）标准格式遵照环境保护部发布的《国家环境保护标准制修订工作管理办法》（国环规科技〔2017〕1号）以及《标准化工作导则第1部分：标准的结构和编写》（GB/T 1.1-2009）的相关要求。

（2）以IAEA技术报告和美国联邦法规10CFR61《LICENSING REQUIREMENTS FOR LAND DISPOSAL OF RADIOACTIVWASTE》中低水平放射性废物处置要求为蓝本，考虑与已颁布的法规、标准等的协调。

（3）从废物管理的实际出发，借鉴美国、英国、法国、德国、日本等国家放射性废物接收、处理、整备、处置以及管理经验，总结国内放射性废物治理工作经验，合理制订废物体特性目标要求及相关检验方法，强化标准的可操作性，为放射性废物的

安全、有效处置提供技术保障。

(4) 根据标准讨论会、审查会议纪要及专家意见对标准进行修改。

4、主要技术内容说明

4.1 标准框架

放射性废物从产生到处置要经历分类收集、处理、整备、贮存、运输等过程，根据国际上放射性废物管理经验，不同的废物管理阶段，均应有相应的标准、规范，用以保证放射性废物的安全管理。我国的放射性废物管理标准中，涉及到放射性废物包的主要集中在包装、运输阶段，还不够全面；且主要为核行业标准。

《低水平放射性废物包的特性鉴定》作为《低、中水平放射性固体废物近地表处置安全规定》(GB 9132) 配套使用的标准，主要关注废物的处理、整备过程产生的“产品”(部分废物源项数据来源于废物产生阶段)，即一个个“废物体(废物包)”，需要提出具体的性能要求和对应的检验方法。标准制定时力求从放射性废物管理标准体系的总体要求出发，合理定位，既体现标准的独立性，又做到与其他相关标准协调、一致。经编制组讨论，并咨询了相关专家的意见，标准主要内容以 IAEA 相关技术文件为参考，对应《放射性废物分类》中低水平放射性废物的涵盖范围和《低、中水平放射性固体废物近地表处置安全规定》(GB 9132) 中废物包的一般技术要求，标准名称确定为《低水平放射性废物包的特性鉴定》，正文内容包括 8 部分：范围、规范性引用文件、术语和定义、低水平放射性废物包的技术要求、低水平放射性废物包的检验要求、低水平放射性废物体性能检验方法、低水平放

放射性废物包的检验方法和质量保证。

4.2 范围

放射性废物种类繁多、来源复杂，不同废物处理、整备工艺也不尽相同，产生的废物体形式也不一样。从标准实用性出发，本标准规定内容和方法不能涵盖所有形式的废物体，例如金属（铅、铝等）包容物、类似于水泥固化的无机胶凝材料固化体及特殊处理工艺条件下可能出现的低水平放射性废物（如玻璃陶瓷固化体、陶瓷固化体等）。从低水平放射性废物处置安全性考虑，世界各国的经验已证明硅酸盐水泥固化（固定）体是能够满足300-500年稳定性要求的，且工艺简单、成本较低。因此，本标准针对水泥固化体或固定体，一是考虑适宜于近地表处置应限制废物包的中放射性核素的种类及活度浓度；二是考虑废物一定要经固化、固定或包装等工艺，封装在包装容器内形成一个整体的废物包。

高完整性容器封装的废物作为一种特殊形式的废物包，应有其特有的性能要求和对应的特性鉴定手段，如设计考虑、机械强度、辐照稳定性、密封性等。根据2018年9月7日的专家咨询会意见，本标准《低水平放射性废物包的特性鉴定》不包含高完整性容器内容。

4.3 规范性引用文件

根据标准的主要技术内容，引用了“低、中水平放射性固体废物近地表处置安全规定（GB 9132）”等20余项现行有效的标准、文件。

4.4 术语与定义

为了便于本标准的使用，对“特性鉴定”和“固定废物体”进行了定义外，还引用了“废物包”、“废物体”的定义，以便于理解。

4.5 低水平放射性废物包的技术要求

废物体是通过处理和（或）整备后形成的具有一定物理和化学形态的固体废物。废物包是按照搬运、运输、贮存和（或）处置要求整备后的产物，包括废物体、容器和两者之间的填充物。因此根据废物包的概念内涵，参照核行业标准《放射性废物体和废物包的特性鉴定》（EJ 1186）的使用实践，本章主要包括三部分内容：低水平放射性废物体的技术要求、放射性废物容器的技术要求和低水平放射性废物包的技术要求。

本标准第4章内容主要参考了IAEA技术报告《Development of Specifications for Radioactive Waste Packages》（IAEA-TECDOC-1515）和美国联邦法规《LICENSING REQUIREMENTS FOR LAND DISPOSAL OF RADIOACTIVWASTE》（10CFR61）的主要内容，从低水平放射性废物处置对废物包（体）化学稳定性、物理稳定性、机械和结构稳定性、热和辐照稳定性等方法提出了基本要求，用以规范废物体产生单位的废物整备、包装及性能检测，并与现行标准的相关要求保持一致。

4.5.1 低水平放射性废物体的技术要求

本标准中的放射性废物体包括水泥固化体、固定废物体，即拟进行近地表处置的放射性废物，应通过合理的工艺手段进行固化或固定处理，形成满足处置要求的废物体。对于其他类型废物体，废物处置单位应采取一事一议的原则，提出相应的技术要求，

由审管部门组织评估后给出实施意见，本标准不做具体要求。

水泥固化是中低水平放射性废物处理的常用手段之一，在世界范围内得到广泛应用。《低、中水平放射性废物固化体性能要求水泥固化体》(GB 14569.1)的实施，为规范放射性废物水泥固化设施的运行、评判固化体性能提供了技术指导。因此，对水泥固化体的技术要求明确为“水泥固化体的性能应满足 GB 14569.1 中第 5 章规定的要求。”

固定废物体是低水平放射性废物处置的主要形式之一，通常采用水泥砂浆将固态废物固结成一个整体，便于贮存、运输、处置。参照美国、英国等国家低水平放射性废物处置要求，结合我国核工业低水平放射性固体废物整备的实践，提出如下主要技术要求：

(1) 废物要求。国内主要放射性废物产生单位的调研结果表明，待近地表处置的放射性废物种类繁多，有些废物的处理、整备工艺还未获得一致认可，最终的处置技术路线尚不明确。因此标准编制时，遵循了《低、中水平放射性固体废物近地表处置安全规定》(GB 9132)中对废物包中内容物的要求，即禁止自燃（或易燃）、易爆、易溶解、腐蚀性和能明显产生气体、能产生生物分解或辐射分解的物质等进入处置场。若废物中含有此类物质，且能明显检出，应采取适当的预处理手段消除安全隐患后，再进行处置。美国内华达处置场废物接收要求和《Near Surface Disposal of Radioactive Waste》(IAEA-WS-R-1)也提出了类似的要求。

(2) 废物装填量的要求。通过对废物产生单位和接收单位

的调研，均认为有必要明确废物包中废物装填量的要求，并认为是推动处置废物最小化的有力措施之一。因此提出了“4.1.3.2 待固定的放射性废物的装填量应不小于废物容器有效容积的85%，且装填高度应不超过废物容器有效高度的95%。”的要求，也得到了部分放射性废物包产生单位的认可。

(3) 水泥砂浆和细石混凝土 28d 的抗压强度要求。目前使用的《放射性废物体与废物包的特性鉴定》(EJ 1186)中对水泥砂浆和细石混凝土 28d 的抗压强度要求均为 60MPa，按照《通用硅酸盐水泥》(GB 175)中“7.3.3 强度”的要求，强度等级 42.5、52.5 和 62.5 硅酸盐水泥 28d 的抗压强度分别为 42.5MPa、52.5MPa 和 62.5MPa。

标准制定中征求了部分废物包(体)产生单位的意见，有单位建议根据实际废物整备作业的经验，将水泥砂浆 28d 的抗压强度要求调整为 50MPa，细石混凝土 28d 的抗压强度要求参照《低、中水平放射性固体废物混凝土容器》(EJ 914)调整为 55MPa。由于缺少参考数据，无法评估强度调整后可能会对处置造成的影响，本次标准中还是维持使用现行行业标准。

(4) 对弥散性粉尘的要求。提出了“4.1.3.5 对于易产生弥散性粉尘的废物，固定前应采取防止粉尘扩散的手段。”的要求，以保护作业人员和环境的安全，避免废物包意外破裂后放射性物质的大量逸散。美国内华达处置场的废物接收要求中也对不同粒径粉尘提出了固定、多层包装等防止扩散的控制要求。

(5) 可燃废物。废物的无机化是发展趋势之一，但我国核工业发展前期已产生了一定量的、待处置的含有机物的废物包，

并且在今后的一段时间内还会陆续产生。因此，本标准中明确对可燃废物固定的要求，提出了“4.1.3.6 废物中的可燃物质固定前应进行预处理，防止燃烧。”说明可燃废物及时采用诸如无机阻燃材料包装等处理手段后，置入废物容器内进行固定处理，也是可以满足目前处置场接收要求的。

4.5.2 放射性废物包装容器的技术要求

核行业标准《低、中水平放射性固体废物混凝土容器》(EJ 914)、《低、中水平放射性固体废物容器钢桶》(EJ 1042)和《低、中水平放射性固体废物容器钢箱》(EJ 1076)已使用多年，废物整备后形成的废物包满足贮存、运输、处置要求，本标准中不另行规定。对于非桶型、集装箱型的非标废物容器，提出了贮存、处置或运输的基本的安全要求。

氚废物包装国内还没有专门的标准规范。美国推荐所有严重污染的氚固体废物回收或处置前包装在密封容器内中期贮存，中等活度水平的氚废物，通常使用双层包容，两层包装桶之间的空间充以吸附材料，如蛭石或类似物，也有采用潮湿的砂子回填，可有效地减少、稀释容器内空体积中的氚，从而减小氚通过容器的渗透率。对于单个包装体中氚总量在几十个 TBq 以上的高活度水平的氚废物，必须使用 3 层包容容器和沥青阻挡层，用于氚迁移的控制。因此，标准编制过程参考 2007 年 3 月美国能源部(DOE)发布的《TRITIUM HANDLING AND SAFE STORAGE》(DOE-HDBK-1129-2007)手册，结合实际含氚废物整备、包装与包装后氚释放测量的工程经验，提出了氚废物容器的基本要求。

4.5.3 放射性废物包的技术要求

放射性废物包处置过程中的安全涉及到放射性废物源项、放射性、化学、物理、机械和结构、辐照、热、生物等性能，从废物包产生过程来看，有些属于废物体产生阶段，有些属于废物包形成阶段，还有些性能要考虑废物体、废物容器和处置场的处置环境。例如，废物包的化学性能涵盖内容很广，且与废物特性、处置环境等诸多因素相关，IAEA 技术文件和美国联邦法规《放射性废物陆地处置的审批要求》中对废物包化学特性的评价内容就包括：处置场地质环境与废物容器、废物体之间的化学作用，废物、固定（化）介质、容器之间的化学作用，废物体形成过程中化学作用等等。这就需要针对不同种类的废物包，建立专门的废物包耐久性试验标准和方法。所以，本标准中对化学性能的要求主要体现在“水泥固化体”，即《低、中水平放射性废物固化体性能要求水泥固化体》（GB 14569.1）中抗浸出性、抗浸泡性的要求，热、辐照等性能要求也进行了类似处理。对于废物包的“生物学性能”相关内容，由于无机化是废物处置的发展方向，各国的废物处置实践中也在加强对废物包中生物物质的含量的限制，IAEA 的技术报告中对“废物生物学性能”要求基本等同于美国联邦法规 10CFR61 中的要求，判定的标准为“300 年的处置期限内，废物体中总含碳量由于生物降解的损失不超过 10%。”标准编制过程中经多次讨论，结合 2018 年 9 月 7 日的专家咨询会意见，本标准不涉及此项内容。

因此，本节主要关注了废物包的放射性、物理性能、机械和结构性能，并明确了含氚废物包的活度限值和释氚率。

（1）放射性

本标准针对适宜于近地表处置的低水平放射性废物包，采用《放射废物分类》中低水平放射性废物的概念，明确了废物中放射性核素的种类及对应的活度浓度，便于实施。

对于废物包（主要是废物固定体）中废物放射性活度的不均匀性，前期西北处置场采用“最大值不超过平均值3倍”的要求，用以限制将高放射性活度废物混入低水平放射性废物中处置的行为。标准初稿编制中，调研了国内退役工程实施中废物整备情况，也调研了美国对不均匀废物的管理要求，经多次讨论，暂不列入标准要求。

针对废物包的表面剂量率和表面污染水平控制限值，《放射性物质安全运输规程》（GB 11806）和《低、中水平放射性固体废物包装安全标准》（GB 12711）等均给出了相同的、具体的控制值。考虑到废物包特性鉴定工作更多发生在废物包整备、贮存等过程，因此引用了《低、中水平放射性固体废物包装安全标准》（GB 12711）。

（2）物理特性

放射性废物近地表处置时，避免因废物包性能恶化而导致处置场坍塌等，进而影响处置场的稳定性，要求废物包具有一定的机械强度和低的游离液体含量。低水平放射性废物包近地表处置时，要经受覆盖层的压力，因此除要求废物体本身具有既定的机械强度外，还要求对装满后的废物包进行灌浆、充实处理，减少废物包内的空隙，增强废物包的机械强度。

（3）机械和结构性能要求

废物包从产生到处置要经历搬运、贮存、运输等过程。若整

备完成后的废物包直接作为运输货包，根据《放射性物质安全运输规程》（GB 11806）的规定，需满足堆码、喷水、跌落和贯穿试验的要求，并保证其密封性；若不直接作为运输货包，可适当降低要求，满足堆码及特定密封等要求即可。在废物包的贮存、处置过程中，存在废物辐照分解、废物体膨胀或收缩等可能，这些因素的影响如若超过废物容器的设计要求，则需在废物包产生过程中采取措施，保证废物包贮存、运输、处置过程的安全。

（4）含氚废物包

对于单个废物包中氚的控制限值，参考了《TRITIUM HANDLING AND SAFE STORAGE》（DOE-HDBK-1129-2007）手册，以废物中氚水含量为 1000Ci 计，从氚安全管理角度，给出了控制限值和泄漏率限值。我国以往的氚废物管理实践中也采用了该值。

4.6 低水平放射性废物包的检验要求

放射性废物管理实践证明，一旦放射性废物经处理、整备形成废物包后，采用非破坏性检测手段难以获得准确的废物特性数据。取样分析则需要建立配套的取样场所、取样工具、实验室分析条件，且取样后可能需要对废物包进行二次整备，整个作业过程也不符合放射性废物管理最小化的规定。废物包的特性鉴定应该涵盖废物处理、整备、形成废物包的全过程，各阶段分析、检验的侧重点也有所不同。在废物处理与整备阶段，通过工艺过程取样、模拟制样等手段，获取详细的废物特性数据和/或形成废物体后的特性数据；一旦形成废物体、废物包，尽可能采用非破坏性分析手段。特别是放射性表征，是废物包特性鉴定的核心内

容，应尽可能在废物产生阶段或废物包产生阶段完成。

本部分内容编制过程中，参照了 IAEA 关于废物包特殊性说明的技术报告的类似要求，也调研了国内部分低放废物包产生单位的实践经验，结合废物处置的管理与技术要求，提出了“废物包性能检验应在不同阶段进行”、“废物包产生过程的特性数据可以作为废物包性能评价依据”和“废物包放射性表征的原则性要求”，对指导废物包特性鉴定工作的进行具有现实意义。

4.7 低水平放射性废物体性能检验方法

继《Characterization of Radioactive Waste Forms and Packages》（IAEA-TECDOC-383）之后，IAEA 又发布了《Development of Specifications for Radioactive Waste Packages》（IAEA-TECDOC-1515）和《Strategy and Methodology for Radioactive Waste Characterization》（IAEA-TECDOC-1537）报告，综述放射性废物体与废物包特性鉴定技术的发展和相关要求的变化，但检验方法未发生根本性改变。

（1）放射性

IAEA-TECDOC-383 文件中针对废物包中放射性检验，提出了计算法、剂量率推算法、关键核素推算、取样分析和多种建议的非破坏性分析方法，涵盖内容很广，并且在同废物流的放射性特性表征方面均有着重要应用。总的原则是能够在废物处理、整备阶段采集的特性数据，应以取样分析为主；一旦形成废物体、废物包应以非破坏性分析为主。IAEA-TECDOC-1537 文件又针对不同废物流，就如何提高测量方法的准确性进行了探讨，并给出了

具体实施建议。本标准主要针对低水平放射性废物包的测量，除上述两个文件外，还参考了《拟再循环、再利用或作非放射性废物处置的固体物质的放射性活度测量》（GB/T17947-2008）中对固体废物中放射性组分和比活度的测量方法，也调研了国内部分低放废物包产生单位的实践经验，提出了以“能谱分析和/或放化分析”为主、结合“ γ 、中子测量”，必要时辅以“算法”、“关键核素推算法”，具有现实指导意义。

（2）化学性能

放射性废物经固化、固定形成的废物体的成分，是评估其长期处置安全性的重要指标之一，测量方法多种多样，因此提出了“采用附录 B 推荐的取样方法，对样品进行化学分析和/或放化分析”的原则性要求，在废物处理、整备阶段通过在线取样或制作模拟样品的方式进行。

废物体的浸出性是关键考核因素之一，包括放射性核素的浸出和非放危险物质的浸出。各国根据处置条件实际，从 300-500 年的时间跨度，通过模拟计算和验证试验，给出废物包中不同核素浸出率的控制值。本标准采用《低、中水平放射性废物固化体性能要求水泥固化体》（GB 14569.1）中给出的方法测定水泥固化体中放射性核素浸出率，采用《危险废物鉴别标准浸出毒性鉴别》（GB 5085.3）给出的方法测定废物体中常见危险物质浸出性能。

采用《危险废物鉴别标准腐蚀性鉴别》（GB 5085.1）中提供的方法，废物体本身的腐蚀性仍然是通过鉴别浸泡液的 pH 值，废物体与金属容器之间的腐蚀性判断则为腐蚀速率的测定。

采用《危险废物鉴别标准反应性鉴别》(GB 5085.5)中提供的方法,用以判定废物体中是否含有遇水反应释放出有毒、有害或爆炸性气体,或者含有不稳定的氧化剂、过氧化物等物质。对于贮存、处置过程中由于辐照产生氢气、甲烷等,存在爆炸风险的废物体,参照 IAEA-TECDOC-383 文件推荐使用计算结合气体质谱法测定浓度的测定方法进行判定。

(3) 物理性能

废物体均匀性包括核素均匀性和结构均匀性两方面,核素均匀性主要用于判断废物包内“热点”的放射性水平,判断是否有高水平放射性废物混入低水平放射性废物包进行处置;结构方面的均匀性用于判断废物包的重心偏离程度,为搬运、堆码、运输安全提供评估依据。对于废物体均匀性检验,国外各处置场均采用非破坏性分析技术,国内放射性废物处置单位也在考虑使用相应的废物包检测装置。因此,本标准不再推荐使用取样分析的破坏性分析技术。

游离液体是低水平放射性废物处置中关键控制参数之一。水泥固化体中游离液体的测定采用《低、中水平放射性废物固化体性能要求水泥固化体》(GB 14569.1)提供的方法。固定废物体中游离液体的控制,应该在废物整备阶段完成;形成废物体后,可采用 IAEA-TECDOC-383 文件推荐的方法,进行非破坏性评估,该技术也应用在英国、美国等国家的废物处置场废物接收检验中。

对于固定介质的抗渗性能和流动度的测量,采用现行有效的《低、中水平放射性固体废物混凝土容器》(EJ 914)附录 C 的

“混凝土抗氯离子渗透性的实验方法”。水泥砂浆流动度和细石混凝土塌落扩展度，分别采用《水泥胶砂流动度检验方法》(GB/T 2419) 和《普通混凝土拌合物性能试验方法标准》(GB/T 50080) 规定的仪器、设备和方法进行测量。

(4) 机械性能

废物体机械性能检测采用现行有效的标准，即水泥固化体抗压强度、抗冲击性能测定采用《低、中水平放射性废物固化体性能要求水泥固化体》(GB 14569.1) 提供的方法；水泥砂浆抗压强度检验采用《水泥胶砂强度检验方法 (ISO 法)》(GB/T 17671) 提供的方法；细石混凝土抗压强度检验采用《普通混凝土力学性能试验方法标准》(GB/T 50081) 提供的方法。

(5) 热性能和辐照稳定性

水泥固化体的热性能和辐照稳定性测试采用《中、低水平放射性废物固化体性能要求水泥固化体》(GB 14569.1) 规定的方法。固定介质的热性能和辐照稳定性测试，也可参照上述标准执行。

4.8 低水平放射性废物包的检验方法

低水平放射性废物包的放射性测量包括表面污染测量和剂量率测量，主要是根据实际操作实践，结合《辐射防护用 β 、 x 和 γ 辐射剂量当量仪和剂量当量率仪》(EJ/T 776)、《放射性物质安全运输规程》(GB 11806)、《 α 、 β 和 α/β (β 能量大于 60keV) 污染测量仪与监测仪》(GB/T 5202) 和《表面污染测定 第 2 部分：氡表面污染》(GB/T 14056.2) 中规定的设备和方法进行编写。

根据《放射性物质安全运输规程》(GB 11806)的要求,具备运输功能的低水平放射性废物包需进行喷水试验、堆码试验、下落试验和贯穿试验的考核,以证明其能够满足正常运输的要求。但对于部分不作为运输货包的低水平放射性废物包,运输过程中还需使用运输容器,可适当降低要求,满足搬运、堆码的要求即可。对于使用混凝土容器的废物包,需按照《低、中水平放射性固体废物混凝土容器》(EJ 914)规定的方法进行渗漏性检验。

对于含氡废物货包的释氡率测定,根据含氡废物整备、包装试验研究结果和实际工程操作经验,提出了“7.5.2 含氡废物包的释氡率采用全氡取样、液体闪烁谱仪测量的方法,测算释氡率。”核工业标准《放射性废物体和废物包的特性鉴定》(EJ 1186)中对氡废物容器的密封性提出了泄漏率的要求,限制了氡废物容器的选择范围,且较高的密封性要求也增加了氡废物容器的制造成本。中国工程物理研究院含氡废物整备实践结果表明,含氡废物固化(或固定后)再进行二次/三次包装后,使用满足《低、中水平放射性固体废物容器钢桶》(EJ 1042)要求的容器封装后,采用全氡取样、液闪分析,测算出废物包的释氡率满足“氡释放率每月不得大于总活度的 10^{-5} 。”的要求。

低水平放射性废物包运送到处置场后,除核对相应的废物特性资料外,还应进行抽检,确定待处置的废物包是否满足相关标准和处置场的接收要求。法国、英国、美国、日本等均建立了一套废物包检测和质量控制方法。法国基于一套完善的废物跟踪系统,从废物产生、处理、整备等每个环节进行控制,同时配合现

场监督，以及少量的破坏性和非破坏性检测，鉴别收贮的废物是否满足要求。英国、美国、日本则主要使用非破坏性检测设备，对废物包中的 α 核素、总 α 活度、裂变产物、活化产物、游离液体等进行检测，判断废物包是否满足处置场接收要求。由此可见，提交处置的废物包的抽检应以非破坏性分析为主，当非破坏性分析无法获得各方满意的结果时，需进行取样分析。

对于抽检比例，目前处置场营运单位在其废物接收规范中提出了“低水平放射性废物送到处置场后，处置场根据废物源项、运输装车见证情况、运输条件，对接收废物包按每批次不高于2%比例对废物包进行抽样检测”。本标准对应提出了“每批次不高于2%（不少于2件）”的具体要求。抽检内容的确定，主要参考了《低、中水平放射性固体废物近地表处置安全规定》（GB 9132）和美国联邦法规 10CFR61 对处置废物包的基本要求，以及《Inspection and Verification of Waste Packages for Waste Packages for Near Surface Disposal》（IAEA-TECDOC-1129）报告中提出的废物包基本检验要求与检验程序。

4.9 质量保证

核工业系统各单位均建立了完善的质量保证体系和组织机构，能够确保废物包特性鉴定的顺利进行。因此本章主要进行了以下要求：一是将废物体与废物包特性鉴定活动技术相关的要求纳入了质量保证大纲；二是将废物体与废物包特性鉴定的全过程管理纳入了质量保证大纲的要求，特别是废物体与废物包的产生过程，用以约束各方的责任。

4.10 附录

本标准包含两个资料性附录。

附录 A 提供了水泥固化体的性能要求及其检验方法，来自于《低、中水平放射性废物固化体性能要求水泥固化体》（GB 14569.1）。

附录 B 对废物包的取样提出了原则性要求，便于各单位在使用过程中灵活操作。取样的代表性、合理性对解释所获得的分析数据准确性具有非常重要的意义。不同种类废物的取样方法、取样量、取样频度都不一样，目前国内只有《工业固体废物采样制样技术规范》（HJ/T 20）可以参考，但操作难度很大，对于种类、性状复杂的废物有一定的借鉴意义。对于业已按照要求处理、整备后形成的“废物体/废物包”，其基本特性数据应该是明确的，取样主要关注的是样品的代表性问题。为便于废物特性鉴定工作的进行，IAEA-TECDOC-1537 文件中将放射性废物分为：成分单一且变化不大的废物、成分复杂但变化不大的废物、成分单一但变化很大的废物、成分复杂且变化很大的废物、退役废物和历史遗留废物 6 类，提出了不同种类废物特性鉴定计划、方案制订的重点，附录 B 基于这一推荐方法进行了取样方法的说明。附录 B 对于不同废物取样方案设计有参考意义。

5 与国内外同类标准的水平对比和分析

本标准借鉴美国联邦法规 10CFR61、国际原子能机构的技术报告和我国相关标准的规定，提出了低水平放射性废物包（体）的性能要求及检验方法。废物体特性要求部分借鉴了美国内华达废物处置场的接收细则，废物包放射性分析借鉴了 IAEA-TECDOC-383 和 IAEA-TECDOC-1537 文件中的推荐的方法，

废物包实物检查则部分参考了 IAEA-TECDOC-1129 文件。总之，本标准是在充分汲取国际上低水平放射性废物包管理技术要求的基础上，结合我国低水平放射性废物处理、整备与处置经验编制而成，达到了国际同类标准的水平。