

放射性核素 γ 能谱相关标准分析

张奎* 陈迎锋 杨永新

(中国人民解放军92609部队)

摘要: 本文分析了当前放射性核素 γ 能谱相关标准,为提升标准的适用性与可操作性提出建议。利用全国标准信息公共服务平台,对我国放射性核素 γ 能谱标准情况进行检索统计,包括国家标准、行业标准、团体标准,对放射性核素 γ 能谱系列标准存在的问题进行系统的分析与讨论。结果表明,当前的放射性核素 γ 能谱系列标准存在术语定义不一致、标准内容重复、技术指标要求不统一等问题。据此,建议修订并整合放射性核素 γ 能谱系列相关标准,增强标准的丰富性、适用性和可操作性等,以推动标准更加广泛的应用。

关键词: 放射性核素, γ 能谱, 标准, 分析

DOI编码: 10.3969/j.issn.1674-5698.2024.02.013

Analysis of Standards for γ -Spectrometry of Radionuclide

ZHANG Kui* CHEN Ying-feng YANG Yong-xin

(92609 Unit of PLA)

Abstract: The paper analyzes the existing standards related to γ -spectrometry of radionuclide, and provides suggestions for improving the effectiveness and suitability of the standards. It uses the national public service platform for standards information to search and make a statistic analysis of the standards for γ -spectrometry of radionuclide in china, including national standards, sectoral standards and association standards. The problems of γ -spectrometry of radionuclide standards system are systematically analyzed and discussed. The results show that in the current radionuclide γ -spectrometry series standards, there are problems such as the inconsistency on the definition of key terms, the duplicate standard content, the inconsistent requirements for technical indicators. Accordingly, it suggests revising and integrating the relevant standards on γ -spectrometry of radionuclide to enhance the richness, applicability and operability of the standards and promote their wider application.

Keywords: radioactive, γ -spectrometry, standard, analysis

0 引言

γ 能谱分析是分析样品中 γ 放射性核素最重要的测量手段。 γ 能谱分析在核物理研究、医学分析、环境检测、国土安全和地质勘探中得到了广

泛的应用,与其他放射性分析方法相比, γ 谱仪既能定性、又能定量^[1]。开展 γ 能谱测量的标准化分析工作,对于 γ 能谱分析具有十分重要的意义。本文以 γ 能谱相关现行标准作为切入点,分析目前放射性核素 γ 能谱标准体系的建设情况,包括国家标

作者简介: 张奎, 通信作者, 硕士研究生, 工程师, 主要研究方向为核科学与技术。

陈迎锋, 博士研究生, 高级工程师, 主要研究方向为核科学与技术。

杨永新, 硕士研究生, 正高级工程师, 主要研究方向为核科学与技术。

准、行业标准和团体标准,探讨放射性核素 γ 能谱及其标准化未来的工作思路,并提出对策建议;利用计量分析方法、文献调研法等情报分析方法^[2],基于全国标准信息公共服务平台提供的资源,对我国放射性核素 γ 能谱标准的实施情况进行检索统计,并对放射性核素 γ 能谱标准体系存在的问题进行分析讨论并提出建议。

1 放射性核素 γ 能谱相关标准

依据全国标准信息公共服务平台查询统计,截至2023年11月涉及放射性核素 γ 能谱的现行国家标准共3项,行业标准6项,团体标准1项。在国家标准的归口单位方面,主要是国家卫生健康委员会(国家卫健委,标准数量2项)、国家认证认可监督管理委员会(国家认监委,标准数量1项)、全国海洋标准化技术委员会(SAC/TC 283,标准数量1项)、生态环境部核设施安全监管司和法规与标准司(生态环境部,标准数量3项)、国家卫生标准委员会放射卫生标准专业委员会(国家卫标委,标准数量2项)、北京市辐射安全研究会(北京辐安会,标准数量1项)。

1.1 放射性核素 γ 能谱国家标准

表1列出了放射性核素 γ 能谱的国家标准共计3项,形成了目前标准应用的基础。从牵头单位来看,这些国家标准的归口单位主要是国家卫健委和TC 283。从实施时间来看,这些国家标准的制定分为两个阶段:20世纪90年代,由原卫生部牵头制定了GB 11713-1989,并以此为基础制定了GB/T 11743-1989、GB/T 16140-1995和GB/T 16145-1995;另一阶段是近十年,随着新型探测器(高纯锗、溴化镧等)在 γ 能谱分析方面的广泛应用以及性能指标的迅速提升,国家卫健委(原国家卫

计委)对上述标准进行了修订并对类似的标准进行了合并和替代,形成了目前实施的GB/T 11713-2015、GB/T 16145-2022。同一时期,TC 283基于海洋沉积物放射性核素的测定制定了GB/T 30738-2014。

表1中的3项国家标准为放射性核素 γ 能谱的分析提供了坚实的方法支撑和技术保障。GB/T 11713-2015是放射性核素 γ 能谱分析的通用方法,为各类环境介质放射性核素 γ 能谱分析提供基础方法。GB/T 16145-2022以GB/T 16145-2020为主,整合了GB/T 11743-2013和GB/T 16140-2018的内容,形成了全面的环境样品和生物样品的放射性核素 γ 能谱分析方法。GB/T 30738-2014是具有行业特色的专有海洋沉积物放射性核素 γ 能谱分析方法,与GB/T 16145-2022中的海洋沉积物(底泥)的采集、制备与测量均参照GB 17378.3-2007。

1.2 放射性核素 γ 能谱行业标准

表2列出了放射性核素 γ 能谱的行业标准共计6项。从牵头单位来看,这些行业标准的归口单位主要是国家认监委、国家卫标委和生态环境部。基于行业应用来看,分别是国家检验检疫、国家卫生健康和国家核能安全领域。从实施时间来看,这些行业标准的制定有两个阶段:2000年前后,国家卫标委制定了WS/T 184-1999;2010年以后,随着福岛核事故发生,国家充分重视核能安全与卫生安全,由生态环境部相继制定了HJ 1127-2020、HJ 1129-2020、HJ 1149-2020,建立了基于应急和就地测量的土壤样品、气溶胶样品、水样品、生物样品中 γ 核素的快速测量和就地土壤的 γ 核素放射性活度浓度的技术规范。同时,国家认监委参照GB/T 11743-2013和GB/T 16145-1995(以上2项标准现已合并为GB/T 16145-2022)制定了SN/T 456-2016。国家卫标委也修订了WS/T 184-2017,制定

表1 放射性核素 γ 能谱相关的国家标准^[3-5]

序号	标准号	标准名称	归口单位	实施日期
1	GB/T 30738-2014	海洋沉积物中放射性核素的测定 γ 能谱法	TC 283	2014-10-01
2	GB/T 11713-2015	高纯锗 γ 能谱分析通用方法	国家卫健委	2016-01-01
3	GB/T 16145-2022	环境及生物样品中放射性核素的 γ 能谱分析方法	国家卫健委	2023-07-01

了WS/T 614–2018。

表2中的6项行业标准为应急状态下放射性核素 γ 能谱的快速分析提供了坚实的方法依据和技术遵循。SN/T 456–2016适用于镉英砂中天然放射性核素的测定,其与GB/T 16145–2022、WS/T 614–2018和HJ 1127–2020中土壤中的放射性核素的测定类似。WS/T 614–2018和HJ 1127–2020均为应急情况下放射性核素的 γ 能谱快速分析,WS/T 614–2018更适于核医学中放射卫生的应急监测,而HJ 1127–2020更适于核与辐射事故应急情况下环境样品 γ 核素的测量。在空气气溶胶测量方面分别有WS/T 184–2017和HJ 1149–2020, HJ 1149–2020相对于WS/T 184–2017在样品的采集、制备等方面更加具体、详细。核事故应急就地测量地表土壤则适用HJ 1129–2020,其特有的质量张弛深度、等效表面沉积通量等指标为核事故应急决策支持提供了信息参考。

1.3 放射性核素 γ 能谱团体标准

表3列出了放射性核素 γ 能谱的团体标准共1项。北京市辐射安全研究会制定的T/BSRS 027–2020,详细规范了核电厂气态流出物中惰性气体烟囱直接取样与 γ 能谱分析,适用于核电厂烟囱气态流出物中惰性气体的快速监测。其与HJ 1129–2020类似,实现了介质(土壤和气态流出物)的现场监测。

2 标准内容分析

2.1 共性分析

放射性核素 γ 能谱的现行标准都采用高纯锗(HPGe) γ 能谱仪,这是因为高纯锗与Ge(Li)探测器和碘化钠探测器相比分辨率强、灵敏度高、刻度方便、样品前处理简单^[13]。在全环境介质测量方面的标准中, HJ 1127–2020适用于应急状况下的快速测量,而GB/T 16145–2022更适用于在实验室条件下的精确测量。在空气样品的采样、制备与测量的标准中, GB/T 16145–2022规定要求的原则性强、HJ 1127–2020是在应急状态下的快速监测、HJ 1149–2020具有较强的可操作性、WS/T 184–2017的内容被包含在前述标准中,而T/BSRS 027–2020仅适用于核电厂烟囱气态流出物。在应急情况下监测方面的标准中, HJ 1127–2020比WS/T 614–2018更具体、详细且包含的放射性核素更全面。

2.2 差异分析

在脉冲幅度分析器道数选择的标准中,仅GB/T 16145–2022中脉冲幅度分析器应不小于4096道,而其他标准都选择不少于8192道,这是因为道数的选择要依据能谱的复杂程度、 γ 射线能量分布范围以及能量分辨率等因素综合考虑。

能谱分析软件功能选择方面的标准GB/T 16145–2022、WS/T 184–2017、WS/T 614–2018、HJ 1127–2020,要求除具备能谱分析功能还要有无源效率刻度功能,这是因为这些标准主要应用在应急监测或者是全面监测领域来保障监测任务的顺

表2 放射性核素 γ 能谱相关的行业标准^[6–11]

序号	标准号	标准名称	归口单位	实施日期
1	SN/T 456–2016	镉英砂中天然放射性核素的测定 γ 能谱法	国家认监委	2017–03–01
2	WS/T 184–2017	空气中放射性核素的 γ 能谱分析方法	国家卫标委	2018–05–01
3	WS/T 614–2018	应急情况下放射性核素的 γ 能谱快速分析方法	国家卫标委	2018–12–01
4	HJ 1127–2020	应急监测中环境样品 γ 核素测量技术规范	生态环境部	2020–04–30
5	HJ 1129–2020	就地高纯锗谱仪测量土壤中 γ 核素技术规范	生态环境部	2020–06–30
6	HJ 1149–2020	环境空气 气溶胶中 γ 放射性核素的测定 滤膜压片/ γ 能谱法	生态环境部	2021–01–01

表3 放射性核素 γ 能谱相关的团体标准^[12]

序号	标准号	标准名称	归口单位	实施日期
1	T/BSRS 027–2020	核电厂气态流出物中惰性气体的 γ 能谱分析技术规范	北京辐安会	2020–08–31

利进行。

在效率刻度标准源方面, GB/T 11713-2015 中要求在能区内选择7个能量的 γ 射线, 而GB/T 16145-2022 中要求选择至少9个能量的 γ 射线, 考虑到 γ 能谱测量技术的发展, 为实现不同核素的识别及活度浓度测量, 建议在实际分析过程中以时间最新的标准为准。

在土壤中放射性核素 γ 能谱分析的标准中, HJ 1129-2020 用于测量地表土壤放射性 γ 核素的测定并要求配备地理定位系统, 记录测试时的地理坐标, GB/T 16145-2022、HJ 1127-2020土壤样品中放射性 γ 核素的测定。与土壤类似, SN/T 456-2016通过用 γ 能谱法测定镉英砂中的放射性核素。

在效率刻度方法方面的标准中, GB/T 11713-2015采用核素全吸收峰探测效率刻度和 γ 射线全吸收峰探测效率刻度, 而GB/T 16145-2022和GB/T 30738-2014中采用 γ 射线全能峰探测效率刻度(分为相对比较法和效率比较法)以及无源效率法。当前, 已有大量研究采用无源效率刻度方法^[14], 其优势是标准源较难获得的情况下, 可通过输入被测样品的相关参数, 对测量数据经过模拟计算并修正后得到测量结果, 测量样品广适性强, 特别是对于难以制作标准源的不规则样品, 测量方法简便、使用灵活、批次样品测量快等, 劣势是无法溯源至国家或者国际标准, 精准度需依托内部算法来提高。无源效率刻度的应用不仅可以减少工作人员接触放射源的频度, 避免职业照射, 降低职业健康

风险; 而且随着环境保护和疾病预防控制机构监测样品种类范围的不断扩大, 在难以找到完全合适的标准源时, 可将无源效率刻度技术推广到环境和食品样品中放射性核素污染风险监测工作中^[15]。

2.3 适用范围与介质分析

放射性核素 γ 能谱的现行标准适用的范围和介质见表4。在适用范围方面基本上覆盖了辐射环境的常规监测与应急监测, 覆盖范围比较全面。在适用介质方面覆盖了大气、水、土壤等常规环境介质和生物样品。同时, 也包含了一些特殊的介质, 例如: 地表土壤、核电厂烟囱排放气体等。

3 讨论与建议

3.1 标准体系重构完善

放射性核素的 γ 能谱相关的10项标准, 涉及5个归口单位, 其中2个为全国标准化技术委员会(全国海洋标准化技术委员会和国家卫生标准委员会放射卫生标准专业委员会), 2个国务院直属机构(生态环境部和卫生健康委员会), 1个社会团体(北京市辐射安全研究会), 说明放射性核素的 γ 能谱分析在海洋、卫生、核能等领域涉及广泛。但是, 由于归口较多, 存在一些标准间的术语定义不一致、内容覆盖范围不同、方法介绍深度不同、配套性和时效性难以统一等问题。

重构标准体系方面, 建议由国家卫生健康委员会和生态环境部联合提出, 具体由中国疾病预

表4 适用范围与介质分析

序号	标准号	适用范围	适用介质
1	GB/T 30738-2014	辐射环境常规监测	海洋沉积物
2	GB/T 11713-2015	——	——
3	GB/T 16145-2022	辐射环境常规监测	环境(土壤、沉积物(底泥)、水、空气)及生物样品
4	SN/T 456-2016	辐射环境常规监测	镉英砂
5	WS/T 184-2017	辐射环境常规监测	空气
5	WS/T 614-2018	应急状态、紧急事件或在短时间内定性识别原始样品	空气、降水(水)、土壤、牧草、食品
7	HJ 1127-2020	应急监测、实验室	大气、水体、土壤和生物体
8	HJ 1129-2020	核事故应急监测、辐射环境质量监测	地表土壤、放射性沉降灰
9	HJ 1149-2020	辐射环境常规监测	环境空气气溶胶
10	T/BSRS 027-2020	核电厂烟囱	气态流出物惰性气体

防控制中心辐射防护与核安全医学所和生态环境部核与辐射安全中心联合牵头,联系国内主要的科研院所以及相关的骨干企业参加,以放射性核素 γ 能谱分析国家标准为基础,全面梳理、分析和总结目前的行业标准和团体标准,系统性、结构性地构建统一的国家标准,实现标准全寿期、周期性的有效管理。标准体系重构完善需具有国际视野,按照国家放射卫生以及核能发展的战略指引,及时追踪世界卫生组织和国际原子能机构在“放射性核素 γ 能谱分析”领域最新的要求,结合“日本核废水排海”等国际问题积极推进我国标准在国际事务中的影响力,努力提升我国标准的国际话语权。

3.2 基础标准全面一致

基础标准是在一定范围内作为其他标准的基础并具有广泛指导意义的标准,通常包括标准化工作导则、通用技术语言标准、量和单位标准、数据与数值标准等。基础标准是保障延伸标准一致性,促进海洋、卫生、核能等领域健康发展的基础性文件。现行的基础标准是GB/T 11713-2015《高纯锗 γ 能谱分析通用方法》,但是该标准与其他现行标准相比存在术语定义不一致、刻度方法未明确无源效率刻度等问题,且目前该标准的起草规则也由GB/T 1.1-2009修订升级为GB/T 1.1-2020,因此亟需对该基础标准进行修订。

放射性核素的 γ 能谱相关的10项标准中的部分标准术语和限值要求不一致。例如:在标准术语方面,GB/T 11713-2015中“ γ 射线全吸收峰探测效率”与GB/T 16145-2022中“全能峰探测效率”叫法不一致。在刻度曲线核查的标准中GB/T 11713-2015和HJ 1149-2020中要求24小时内峰位

变化不超过1道,而GB/T 16145-2022和HJ 1127-2020中要求24小时内峰位漂移不超过2道。建议可在基础标准进行修订的过程中加以明确,方便延伸标准在表述和应用上全面一致。

3.3 团体标准灵活应用

团体标准相比国家标准和行业标准,具有更强的灵活性、对问题的反应速度及时、更新速度快等特点,且是标准体系建设的重要组成部分。然而,在目前的团体标准中仅有北京市辐射安全研究会制定的T/BSRS 027-2020。尤其是在核技术应用的行业领域中,例如:核医学、核安保、放射性药物、环境保护等领域中的社会团体可以根据市场行业的发展及时制定与市场相匹配的团体标准,充分满足市场和创新需求,能够使企业更加聚焦新技术、新产业和新业态,从而能够及时填补行业空白^[16]。

4 总结与展望

实施创新驱动的发展不可或缺的就是要实现行业的标准化。目前的放射性核素的 γ 能谱系列标准在实施过程中,存在术语定义不统一、内容涵盖不一致、配套性和时效性不强等问题,需要由相关部门统筹规划,并及时进行制修订。同时,实现标准的广泛应用并与世界接轨,需要实现科技创新成果与相应产业的标准化相互融合;需要利用标准制修订的契机融入核心技术与知识产权;需要清晰国家标准、行业标准和团体标准的定位与应用范围。标准体系建设是一项持久性的系统工程,需要政府部门、高校和科研院所、行业协会、企业等多方共同努力来实现标准的先进性、及时性和有效性。

参考文献

- [1] 李博, 杜鹃, 吴培源, 等. γ 能谱测量过程中影响因素的探讨[J]. 山东化工, 2023, 52(3): 143-145.
- [2] 赵蕾霞, 钟永恒, 孟银涛. 基于标准分析的主要国家激光产业布局和发展进程研究[J]. 科技管理研究, 2015, 33(22): 144-148.
- [3] 国家质量监督检验检疫总局. GB/T 30738-2014, 海洋沉积物中放射性核素的测定 γ 能谱法[S]. 北京: 中国标准出版社, 2014.
- [4] 国家质量监督检验检疫总局. GB/T 11713-2015, 高纯锗 γ 能谱分析通用方法[S]. 北京: 中国标准出版社, 2015.

- [5] 国家市场监督管理总局. GB/T 16145-2022, 环境及生物样品中放射性核素的 γ 能谱分析方法[S]. 北京: 中国标准出版社, 2023.
- [6] 国家质量监督检验检疫总局. SN/T 4566-2016, 锆英砂中天然放射性核素的测定 γ 能谱法[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
- [7] 国家卫生和计划生育委员会. WS/T 184-2017, 空气中放射性核素的 γ 能谱分析方法[S]. 北京: 中国标准出版社, 2018.
- [8] 国家卫生健康委员会. WS/T 614-2018, 应急情况下放射性核素的 γ 能谱快速分析方法[S]. 北京: 中国标准出版社, 2018.
- [9] 生态环境部. HJ 1127-2020, 应急监测中环境样品 γ 核素测量技术规范[S]. 北京: 中国环境出版社, 2020.
- [10] 生态环境部. HJ 1129-2020, 就地高纯锗谱仪测量土壤中 γ 核素技术规范[S]. 北京: 中国环境出版社, 2020.
- [11] 生态环境部. HJ 1149-2020, 环境空气 气溶胶中 γ 放射性核素的测定 滤膜压片/ γ 能谱法[S]. 北京: 中国环境出版社, 2020.
- [12] 北京市辐射安全研究会. T/BSRS 027-2020, 核电厂气态流出物中惰性气体的 γ 能谱分析技术规范[S]. 北京: 中国标准出版社, 2020.
- [13] 王欢, 孟庆华, 孙亚茹, 等. 2014-2021年参加全国放射性核素 γ 能谱分析能力考核结果分析[J]. 中国辐射卫生, 2023, 32(4): 444-449.
- [14] 洪韵. 水体放射性自动监测高纯锗 γ 能谱的效率刻度[J]. 上海计量测试, 2022, 49(1): 10-14. DOI: CNKI: SUN:SJLC.0.2022-01-005.
- [15] 赖忠俊, 宣志强, 俞顺飞, 等. 有源-无源 γ 能谱分析方法在分析环境样品中放射性核素的应用[J]. 中国辐射卫生, 2020, 29(4): 378-381+386.
- [16] 王学军, 王旭峰, 褚平安, 等. 聚丙烯酰胺相关标准分析研究[J]. 工业水处理, 2021, 41(12): 127-131.

(上接第74页)

参考文献

- [1] 国家药品监督管理局南方医药经济研究所. 中国医疗器械产业发展报告: 现状及“十四五”展望[M]. 北京: 中国医药科技出版社, 2022: 162-178.
- [2] 李春飞, 姜晓亮. 医疗器械包装发展价值链[J]. 上海包装, 2019(04): 43-46.
- [3] 国家药品监督管理局. 关于公布医疗器械注册申报资料要求和批准证明文件格式的公告 (2021年第121号) [EB/OL]. (2021-09-30) [2023-12-03]. <https://www.nmpa.gov.cn/ylqx/ylqxggtg/20210930155134148.html>.
- [4] 李杨. 医疗器械运输包装性能试验大纲探析[J]. 中国包装, 2023, 43(03): 16-21.
- [5] GB/T 14710-2009, 医用电器环境要求及试验方法[S].
- [6] YY/T 0681.15-2019, 无菌医疗器械包装试验方法 第15部分: 运输容器和系统的性能试验[S].
- [7] GB/T 4857.17-2017, 包装运输包装件基本试验 第17部分: 编制性能试验大纲的通用规则[S].
- [8] ASTM D4169-16, Standard Practice for Performance Testing of Shipping Containers and Systems[S].
- [9] 张鹏, 吴平, 钱承玉. 无菌医疗器械包装运输性能的试验研究[J]. 中国医疗器械信息, 2018, 24(09): 50-52.
- [10] 王冬伟, 张博, 张磊, 等. 无菌医疗器械包装评价标准及要求浅析[J]. 塑料包装, 2020, 30(06): 42-45+56.
- [11] U.S. FOOD & DRUG ADMINISTRATION. Recognized Consensus Standards: Medical Devices [EB/OL]. (2023-05-29) [2023-12-03]. <https://www.accessdata.fda.gov/scripts/cdrh/cfdocs/cfStandards/search.cfm>.
- [12] ISTA 3A:2018, Packaged-Products for Parcel Delivery System Shipment 70kg (150lb) or Less[S].