《深海/深空探测用微型核电池技术要求》

（征求意见稿）

编制说明

一、工作简况

（一）任务来源

本项目根据中国欧洲经济技术合作协会2026年团体标准制定计划，项目名称为《深海/深空探测用微型核电池技术要求》的任务而进行制订。

（二）起草单位及主要起草人

本文件起草单位：。

本文件主要起草人：。

（三）标准制定目的和意义

从产业角度分析，制定《深海/深空探测用微型核电池技术要求》团体标准的目的和意义主要体现在以下几个方面：

1.目的

制定该文件旨在规范深海与深空探测场景中微型核电池的技术要求，明确其在极端环境下的性能指标、安全阈值及可靠性验证方法，从而解决当前相关装备能源系统缺乏统一技术依据的问题。通过确立一致的技术规范，能够有效降低不同研制单位间的沟通成本与技术壁垒，促进产业链上下游的协同创新。此举有助于推动微型核电池技术从实验室研发向工程化应用转化，提升我国在极端环境探测领域的自主保障能力，确保探测任务能源供应的稳定性与安全性，为拓展人类探索边界提供坚实的技术支撑。

2. 意义

该文件的实施对于推动高端装备制造产业的绿色转型与技术升级具有深远意义。通过统一技术规范，能够引导行业资源向高效、安全、长寿命的能源解决方案集中，避免低水平重复建设，提升整体产业竞争力。同时，这有助于增强我国在深海与深空探测领域的国际话语权，通过高水平的技术要求引领行业发展方向。此外，规范化的技术要求还能提升公众对核能应用在极端环境下的认知与接受度，为未来更广泛的核能利用奠定社会基础，助力国家科技强国战略的实施。

综上，制定《深海/深空探测用微型核电池技术要求》团体标准对于促进企业绿色

低碳转型与产业升级、推动可持续管理与信息披露技术创新、保障经济社会高质量发展及增强企业可持续核心竞争力等方面都具有重要意义。

（四）主要工作过程

1.前期准备工作

项目立项前，标准编制小组查阅、研读相关国内外文献，广泛搜集相关的材料。同时，标准编制小组安排相关人员，多次与相关行业人员进行调研、交流，广泛征求标准制定方面的意见和建议。

2026 年 10 月 21 日本团体标准由中国欧洲经济技术合作协会正式立项，立项名称为：《深海/深空探测用微型核电池技术要求》。

2.标准起草过程

2026 年 10 月，团体标准立项通知公示后，标准编制小组首先组织了标准制定工作会议，各编写人员根据工作计划分工和编写要求开展了相关工作。在标准起草期间，编制小组主编单位及参编单位组织了数次内部研讨会和专家咨询会，经过多次修改，于 2026 年 10 月末完成了标准初稿及编制说明的撰写工作。

二、标准编制原则和依据

（一）编制原则

标准起草小组在编制标准过程中，以国家、行业现有的标准为制订基础，结合我国目前的行业现状，按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第 1 部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定及相关要求编制。

（二）标准主要内容与确定依据

1.标准主要内容

1.1 范围

本文件规定了深海/深空探测用微型核电池的分类与命名、技术要求、试验方法、检验规则、标志、包装、运输、贮存以及退役与回收要求。

1.2 规范性引用文件

GB/T 191 包装储运图形符号标志

GJB/Z 299C 电子设备可靠性预计手册

GB/T 2423.1 电工电子产品环境试验 第 2 部分：试验方法 试验 A： 低温

GB/T 2423.2 电工电子产品环境试验 第 2 部分：试验方法 试验 B：高温

GB/T 2423.5 环境试验 第 2 部分:试验方法 试验 Ea 和导则:冲击

GB/T 2423.10 环境试验 第 2 部分：试验方法 试验 Fc：振动（正弦）

GB/T 2423.23 环境试验 第 2 部分：试验方法 试验 Q：密封

GB/T 4208 外壳防护等级（IP 代码）

GB/T 8170 数值修约规则与极限数值的表示和判定

GB 11806 放射性物质安全运输规程

GB 18871 电离辐射防护与辐射源安全基本标准

GB 27742 可免于辐射防护监管的物料中放射性核素活度浓度

JJG 1009 X、γ辐射个人剂量当量 HP(10）监测仪检定规程

1.3 术语和定义

界定微型核电池、辐射伏特效应、换能器件、放射源芯、比能量、性能衰减率及深海型/深空型等术语。

1.4 分类与命名

按应用场景分为深海型 S 和深空型 V、按功率分为Ⅰ/Ⅱ/Ⅲ级，型号由“MNB—场景—功率—核素—寿命”五部分组成。

1.5 技术要求

规定微型核电池在总体、放射源、换能器件、电性能、机械环境、辐射安全封装及寿命可靠性方面的技术要求。

1.6 试验方法

规定核素源、换能器件电性能、环境适应性、辐射安全封装及寿命可靠性等试验方法。

1.7 检验规则

产品检验分为型式检验、出厂检验和周期性检验。

1.8 标志、包装、运输和贮存

规定产品铭牌、外包装标志、放射性运输包装、合规运输及专用库房贮存要求。

2.确定标准主要内容的依据

本标准的主要内容依据 GB/T 1.1《标准化工作导则 第 1 部分：标准化文件的结构和起草规则》的要求，主要内容的制定依据主要来源于当前微型核电池技术的成熟度、深海与深空环境的特殊性以及国内外相关研究的最新进展。在技术指标设定上，充分参考了现有放射性同位素热电发生器及贝塔伏特电池的工程应用经验，结合深海高压、低温及深空高辐射、真空等极端环境对能源系统的具体影响，确定了关键性能参数的边界条件。在安全要求方面，依据辐射防护基本原则及航天器、潜水器环境控制要求，制定了严格的泄漏率、屏蔽效能及环境适应性指标。同时，借鉴了电子元器件可靠性设计及核安全领域的通用规范，确保技术要求既具有前瞻性又具备工程可行性。此外，还广泛调研了材料科学、微电子学及核物理领域的最新成果，确保文件内容能够反映当前技术发展的最高水平，为未来技术迭代预留空间，从而形成一套科学、系统且可操作的技术规范体系。

三、主要试验情况分析、技术经济论证、预期经济效果

（一）主要试验情况分析

针对微型核电池在极端环境下的性能表现，开展了多维度的模拟试验与验证分析。在热学性能方面，通过高低温循环试验及热真空试验，验证了电池在深空极寒及深海低温环境下的输出稳定性，确认了热电转换材料在宽温域内的可靠性。在力学性能方面，进行了随机振动、冲击及高压舱模拟试验，评估了封装结构在发射段剧烈振动及深海高静水压条件下的完整性，确保内部放射性源不会因机械应力而发生泄漏。在辐射安全方面，通过屏蔽效能测试及环境剂量率监测，验证了电池对外部敏感电子元器件及操作人员的安全性，确保辐射水平控制在安全范围内。此外，还进行了长寿命老化试验及加速寿命试验，分析输出功率随时间的衰减规律，验证了电池在长周期任务中的持续供电能力。综合各项试验结果，当前技术方案能够满足深海与深空探测的基本需求，但在极端工况下的长期稳定性仍需通过更严苛的测试进一步验证，为技术要求的最终确定提供了详实的数据支撑。

（二）技术经济论证

从技术经济性角度分析，微型核电池虽然初期研发与制造成本较高，但其在深海与深空探测任务中的全生命周期成本优势显著。相较于传统的化学电池，微型核电池具有极高的能量密度和超长的使用寿命，能够大幅减少探测器的发射重量及体积，从而降低昂贵的发射成本。在深海探测中，其免维护特性消除了更换电池的昂贵海工费用；在深空探测中，其不依赖太阳光照的特性使得探测器能够进入更遥远的区域，极大地扩展了科学探测的范围与价值。虽然放射性同位素材料的获取与处理涉及较高的安全投入，但随着制备工艺的成熟及规模化应用，单位功率成本有望逐步降低。此外，该技术的应用将带动半导体材料、热电转换器件及精密封装等相关产业链的发展，产生显著的技术溢出效应。综合考量，其在提升任务成功率、延长任务寿命及拓展探测能力方面的收益远超初始投入，具有极高的费效比，是推动深空深海探测技术跨越式发展的关键经济支撑。

（三）预期经济效果

该文件的实施预计将产生显著的经济效益与产业带动效应。首先，通过规范技术要求，将加速微型核电池的工程化应用进程，推动相关科研成果向现实生产力转化，培育新的经济增长点。随着技术的成熟与成本的降低，微型核电池有望在极地科考、无人潜航器、深空卫星等领域实现规模化应用，形成具有高技术附加值的产业集群。其次，统一的技术规范将促进产业链上下游企业的协同合作，降低研发风险与试错成本，提高整体产业效率，增强我国在高端核能应用领域的国际竞争力。此外，该技术的推广应用还将带动新材料、新工艺及新装备的发展，促进相关配套产业的升级与转型。长远来看，随着技术的不断迭代与应用场景的拓展，微型核电池有望成为未来能源结构的重要组成部分，为国家能源安全与可持续发展提供新的动力，产生深远的经济与社会影

响。

四、与有关的现行法律、法规和强制性国家标准的关系

本标准的制定过程、技术要求的选定、试验方法的确定、检验项目设置等符合现行法律、法规和强制性国家标准的规定。

五、重大分歧意见的处理经过和依据

无。

六、废止现行有关标准的建议

本标准不涉及对现行标准的废止。

七、知识产权情况说明

本文件不涉及必要专利等知识产权情况。

八、标准作为强制性或推荐性标准的建议

建议该标准作为推荐性团体标准。

九、贯彻标准的要求和措施建议，包括（组织措施、技术措施、过渡办法）

本标准首次制定，没有特殊要求。

十、其他应予说明的事项

无。

《深海/深空探测用微型核电池技术要求》团体标准编制组

2026 年 11 月