核电行业环境监测标准体系的国际对比与优化建议

农君晴
中广核陆丰核电有限公司　广东　汕尾　516500

摘　要：本文聚焦核电行业环境监测标准体系的国际对比与优化。概述国际核电环境监测标准体系多元格局，接着对比分析IAEA、美国ASME、欧洲EN等标准体系及部分国家特色体系。基于国际经验，从强化技术包容、提升系统性与先进性等方面提出对我国的启示，并给出制定长期规划、加强标准制定修订等具体优化建议，助力我国核电环境监测标准体系完善。

关键词：核电行业；环境监测；标准体系；国际对比；优化建议

引言：核电作为清洁能源，其环境监测至关重要。国际核电环境监测标准体系历经发展，形成多元格局，涵盖全流程，为全球核电安全提供保障。不同国际组织及国家构建了各具特色的标准体系，各有优势与不足。我国核电产业快速发展，对比国际经验，优化自身环境监测标准体系迫在眉睫，这对保障我国核电安全、推动核电“走出去”意义重大。

1 国际核电环境监测标准体系概述

国际核电环境监测标准体系是全球核电安全管控的核心支撑，是规范核电设施环境监测行为、防范放射性污染、保障公众健康与生态环境安全的重要依据，逐步形成了以国际组织主导、各国自主完善、区域协同补充的多元发展格局。随着全球核电产业的迭代升级，以及福岛核事故等重大事件带来的经验教训，该体系不断优化完善，涵盖放射性核素监测、环境介质取样、剂量评估、应急响应等全流程。其核心目标已从传统的人类辐射防护，逐步延伸至生态环境全方位保护，兼顾正常运行与事故应急场景，明确了监测指标、技术方法、质量控制等核心要求[1]。目前，国际层面形成了IAEA主导的通用标准，区域层面有欧洲EN、美国ASME等特色体系，各国结合自身核电发展规模与环境特点，制定了适配本土需求的标准，共同构成了层次清晰、覆盖全面、动态更新的国际核电环境监测标准体系，为全球核电安全有序发展提供了重要保障。

2 国际核电环境监测标准体系的对比分析

2.1 IAEA标准体系分析

IAEA（国际原子能机构）标准体系是国际核电环境监测领域的核心指导性体系，以《保护公众和环境的监测》等核心导则为基础，构建了涵盖监测策略、技术方法、质量保证、应急处置的完整框架，其核心优势在于通用性与权威性，适配全球不同发展水平国家的核电发展需求。该体系明确了放射性核素释放控制的核心要求，兼顾正常运行与核事故场景，近年来逐步融入生态导向的辐射防护理念，明确考虑非人类物种的辐射影响，与国际放射防护委员会的建议保持一致。体系涵盖源监测、环境监测、个体监测三大类别，为成员国提供统一的剂量评估方法与补救行动指南，同时通过技术援助与培训，助力成员国提升监测能力。其不足在于对不同国家的本土环境差异适配性不足，部分技术要求较为原则化，需要成员国结合自身实际补充细化，整体更新节奏与各国核电技术迭代速度存在一定差距。

2.2 美国ASME标准体系分析

美国ASME（美国机械工程师协会）标准体系是全球核电领域技术细节最完善的标准体系之一，核心聚焦核电设施组件的设计、建造、运行及环境监测全流程，凸显实操性与技术先进性，与美国核电产业的成熟发展水平高度适配。该体系被美国核管理委员会（NRC）纳入监管依据，通过定期更新editions与addenda，确保标准与最新技术成果同步，每3年发布新版标准，每年补充修订内容。其环境监测相关标准重点涵盖蒸汽、水等介质的取样、分析与监测，明确了具体的仪器设备要求、检测方法与质量控制规范，深度衔接核电设施运行监测，实现环境监测与设备管控的协同[2]。该体系的优势在于技术细节严谨、可操作性强，依托美国强大的核电技术研发能力，不断融入前沿监测技术；不足在于区域针对性较强，主要适配美国本土核电技术路线，对其他国家的适配性有限，且标准体系较为庞杂，推广应用成本较高。

2.3 欧洲EN标准体系分析

欧洲EN（欧洲标准）核电环境监测标准体系以《欧洲原子能共同体条约》为法律基础，由欧洲标准化委员会制定，核心特点是区域协同性与生态导向性，旨在实现欧洲成员国间标准统一，提升区域核电环境安全管控

水平。该体系以2013/59/Euratom指令为核心，明确了辐射防护的统一基础标准，涵盖工作人员、公众及生态环境的全方位保护，充分吸收福岛核事故的经验教训，强化了应急准备与响应的监测要求。体系注重多介质、多场景的全面监测，包括空气、水、土壤、生物等环境介质，明确了监测频率、指标限值与评估方法，同时强调成员国间的监测数据共享与协同处置。其优势在于区域协同性强，能够有效统筹欧洲各国核电环境监测资源，生态保护导向明确；不足在于标准制定需兼顾各成员国的技术差异，更新速度相对较慢，部分标准条款的灵活性不足，难以完全适配不同国家的具体核电发展场景。

2.4 其他国家与地区标准体系简述

除IAEA、美国ASME、欧洲EN标准体系外，多个国家与地区结合自身核电发展特点，形成了具有本土特色的核电环境监测标准体系，各有侧重、相互补充。日本依托国立研究开发法人日本原子力研究开发机构，建立了精细化的环境监测体系，重点涵盖空间剂量、陆地与海洋介质监测，明确了详细的监测频率、核素种类与评估要求，尤其注重核事故后环境修复的监测管控，适配其多岛屿、多海域的环境特点。俄罗斯形成了“垂直一体化”的监管与标准体系，以《原子能利用法》为基石，以NP系列联邦规范为核心，参考IAEA标准，结合自身核电技术路线，明确了环境影响评价与监测的强制性要求，层次分明、权责清晰。

3 国际经验对我国核电环境监测标准体系优化的启示

全球核电环境监测标准体系的发展经验，为我国优化自身体系提供了重要借鉴，核心启示在于立足我国核电发展实际，兼顾技术适配性、体系完整性与国际兼容性，弥补现有标准的不足，提升我国核电环境监测的规范化、科学化水平。

3.1 强化标准的技术包容能力

强化标准的技术包容能力，是我国核电环境监测标准体系优化的重要方向，这一启示源于IAEA标准的通用性与ASME标准的技术适配性经验。当前我国核电产业正快速发展，小型模块化堆等新技术、新堆型不断涌现，同时不同地区核电环境差异较大，现有标准在适配新技术、新场景方面存在不足。国际经验表明，标准体系需兼顾技术先进性与适配性，既要纳入前沿监测技术与方法，又要为不同技术路线、不同环境条件提供灵活适配空间。我国需在标准中预留技术更新接口，明确新技术监测要求的基本原则，避免标准滞后于技术发展；同时，结合我国不同地区的环境特点，制定差异化的监测要求，兼顾沿海与内陆核电、大型堆与小型堆的监测需求，确保标准既能覆盖先进技术，又能适配各类实际场景，提升标准的适用性与灵活性。

3.2 提高标准的系统性与先进性

提高标准的系统性与先进性，借鉴美国ASME标准的技术严谨性与欧洲EN标准的体系完整性，弥补我国现有标准碎片化、部分技术滞后的问题。国际先进标准体系均构建了涵盖监测指标、技术方法、质量控制、应急响应、数据评估的全流程框架，且与核电技术迭代同步更新[3]。我国现有标准存在部分领域衔接不畅、技术要求落后于国际先进水平的问题，需梳理现有标准体系，整合分散的监测要求，形成覆盖核电全生命周期、多环境介质、多场景的完整体系，明确各环节监测的衔接要求，避免重复与遗漏。同时，跟踪国际前沿监测技术与研究成果，将在线监测、精准剂量评估等先进技术纳入标准，参考ASME标准的定期更新机制，建立我国标准的动态修订机制，确保标准技术水平与国际同步，提升我国核电环境监测的科学性与精准度。

3.3 增强标准的国际适应性

增强标准的国际适应性，是我国核电“走出去”战略的必然要求，借鉴IAEA标准的国际通用性与欧洲EN标准的区域协同性经验。当前我国核电技术已逐步走向国际，但我国核电环境监测标准与国际先进标准仍存在部分差异，影响国际合作与技术输出。国际经验表明，先进标准体系均注重与国际标准衔接，同时保留本土特色，实现国际兼容与本土适配的统一。我国需主动对接IAEA等国际组织的核心标准，梳理我国标准与国际标准的差异，在关键指标、技术方法、质量控制等方面实现对齐，提升标准的国际认可度；结合我国核电技术特点与环境需求，保留本土特色条款，形成“国际接轨、本土适配”的标准体系，为我国核电企业参与国际竞争、开展国际合作提供支撑，推动我国核电标准成为国际标准的重要组成部分。

3.4 填补标准缺项与完善不完备之处

填补标准缺项与完善不完备之处，借鉴日本、俄罗斯等国标准的精细化特点，针对我国现有标准的薄弱环节，提升体系完整性。国际先进标准体系均注重细节完善，覆盖核电运行、应急、退役等全场景，针对各类特殊情况制定明确要求，而我国现有标准在小型模块化堆监测、核事故后环境修复监测、多介质协同监测等方面存在缺项，部分条款过于原则化，可操作性不足。结合国际经验，我国需开展全面的标准梳理，重点填补小型模块化堆等新堆型的环境监测标准空白，明确供汽供热等多用途核电的监测要求；细化核事故应急监测、退役

后环境监测的技术规范，明确监测指标、频率与评估方法；完善现有标准中模糊、滞后的条款，增强标准的可操作性，同时补充生态环境多物种保护相关的监测要求，实现标准体系的全面完善，筑牢核电环境安全防线。

4 我国核电环境监测标准体系优化的具体建议

4.1 制定长期发展规划

制定长期发展规划，是优化我国核电环境监测标准体系的首要任务，借鉴欧洲EN标准的区域协同规划经验，结合我国核电发展战略，明确标准体系优化的目标、重点与路径。建议由生态环境部、国家核安全局牵头，联合核电企业、科研机构，制定核电环境监测标准体系长期发展规划，明确未来5-10年的优化方向，衔接我国核电发展规划，聚焦小型模块化堆、核电退役等重点领域，明确标准缺项填补、技术更新、国际接轨的具体任务。规划需兼顾科学性与可行性，分阶段推进实施，明确各阶段的工作重点与时间节点，统筹协调标准制定、技术研发、人才培养等相关工作，避免盲目推进。建立规划实施评估机制，定期评估规划落实情况，根据核电技术发展与环境监管需求，及时调整规划内容，确保规划能够有效引领标准体系优化升级，为我国核电环境监测工作提供明确指引。

4.2 加强标准制定与修订工作

加强标准制定与修订工作，是完善标准体系的核心举措，借鉴美国ASME标准的动态更新机制与IAEA标准的通用性原则，提升标准的质量与时效性。建议建立“政府主导、科研支撑、企业参与”的标准制定修订机制，吸纳核电企业、科研机构、高校的专业力量，确保标准既符合监管要求，又贴合实际应用需求。重点推进小型模块化堆环境监测、核事故应急监测等缺项标准的制定工作，参考国际先进技术与我国实践经验，明确具体技术要求；定期开展现有标准的修订工作，每3-5年组织一次全面评估，及时吸纳前沿监测技术、弥补条款缺陷，结合《核动力厂环境辐射防护规定》的修订经验，确保标准与法律法规、技术发展同步[4]。

4.3 强化标准实施与监督

强化标准实施与监督，是确保标准落地见效的关键，借鉴俄罗斯“垂直一体化”监管经验与我国核安全监管实践，推动标准全面有效执行。建议加强标准宣贯培训，面向核安全监管部门、地方生态环境部门、核电企业，开展多形式的标准解读与培训，提升相关人员的标准认知与执行能力，及时解决标准实施过程中出现的问题。建立严格的标准实施监督机制，由国家核安全局牵头，加强对核电企业环境监测工作的监督检查，重点核查监测行为是否符合标准要求、监测数据是否真实准确，依法查处违法行为。同时建立标准实施效果评估机制，定期评估标准实施对核电环境安全的保障作用，收集企业、监管部门的反馈意见，为标准的修订完善提供依据。另外，推动核电企业建立健全内部监督机制，加强自我管控，确保标准各项要求落到实处，提升我国核电环境监测工作的规范化水平。

结束语

国际核电环境监测标准体系的发展为我国提供了宝贵经验。我国应立足实际，借鉴国际先进做法，从制定长期规划、加强标准制定修订、强化实施监督等多方面发力，优化核电环境监测标准体系。通过不断完善，提升我国核电环境监测的规范化、科学化水平，保障核电安全有序发展，增强我国核电在国际市场的竞争力，推动核电事业迈向新高度。

参考文献

[1]付龙俊,汤亮,徐晋.核电厂周边环境中氚化水蒸气收集效率的影响因素分析[J].科技视界,2025,15(24):63-66.

[2]韩丽英,刘军,关庆涛.核电厂双轨制辐射环境监测政策分析与改进建议[J].辐射防护通讯,2025,45(3):8-12.

[3]王春梅,张彩虹,陈东军.基于多检出限回归法的核电厂周边大气环境监测数据的参数估计[J].环境科技,2025,38(2):51-55,61.

[4]孙小康.核电厂外围辐射环境监测数据异常自适应预警[J].兵工自动化,2024,43(11):44-46.