

我国核燃料循环标准化发展战略研究

潘建均¹, 王毅韧², 李筱珍¹, 康椰熙¹, 张宏伟¹, 郭建新¹, 郑刚阳³, 王妍妍⁴

(1. 中核战略规划研究总院有限公司, 北京 100048; 2. 国家国防科技工业局, 北京 100048; 3. 中国工程物理研究院研究生院, 北京 100088; 4. 中国原子能工业有限公司, 北京 100032)

摘要: 核燃料循环标准化是核燃料循环产业安全发展、创新发展的重要支撑, 特别是在我国进入高质量发展阶段期间, 标准化作用显得尤为重要, 开展核燃料循环标准化发展战略研究对支撑我国核工业强国建设具有重要战略意义。本文系统分析了国内外核燃料循环标准化的发展现状, 从工作机制、发展平衡性、引领作用、保障能力等方面剖析了我国核燃料循环标准化亟待解决的关键问题, 并据此提出了今后的主要任务和相应对策建议。研究指出, 我国核燃料循环标准化工作今后的七项重点任务为: 补齐核燃料循环后段标准短板、加大关键核心技术标准研制、加强先进标准研制、强化前沿基础标准建设、加强安全环保标准建设、深度参与国际标准化工作、强化标准化基础能力建设。最后, 本文从将核燃料循环标准化纳入核工业“十四五”规划、健全标准化工作机制、加大经费投入、加强标准化人才队伍建设等方面提出了对策建议。

关键词: 核燃料循环; 高质量发展; 技术标准; 基础能力; 标准国际化

中图分类号: G307 **文献标识码:** A

Development Strategies for Nuclear Fuel Cycle Standardization in China

Pan Jianjun¹, Wang Yiren², Li Xiaozhen¹, Kang Yexi¹, Zhang Hongwei¹, Guo Jianxin¹,
Zheng Gangyang³, Wang Yanyan⁴

(1. China Institute of Nuclear Industry Strategy, Beijing 100048, China; 2. State Administration of Science, Technology and Industry for National Defence, PRC, Beijing 100048, China; 3. Graduate School of China Academy of Engineering Physics, Beijing 100088, China; 4. China Nuclear Energy Industry Corporation, Beijing 100032, China)

Abstract: Nuclear fuel cycle standardization is important for the safe and innovative development of the nuclear fuel cycle industry, especially when China has currently entered a high-quality development stage. Therefore, conducting strategic research on nuclear fuel cycle standardization becomes significant for boosting China's nuclear industry. In this article, we analyze the development status of nuclear fuel cycle standardization in China and abroad, investigate the key problems of nuclear fuel cycle standardization in China from the perspectives of working mechanism, development balance, leading role, and support ability, and propose the major tasks and relevant countermeasures. Specifically, the major tasks involve seven aspects: post-stage standards of the nuclear fuel cycle, standards for key technologies, advanced standards, frontier basic standards, safety and environmental protection standards, international standardization, and basic capacities for standardization. Furthermore, the countermeasures comprise including nuclear fuel cycle standardization into the 14th Five-Year Plan of the nuclear industry, improving the standardization mechanism, increasing investment, and strengthening the construction of standardization talent teams.

Keywords: nuclear fuel cycle; high-quality development; technical standards; basic ability; international standardization

收稿日期: 2021-01-08; 修回日期: 2021-04-21

通讯作者: 潘建均, 中核战略规划研究总院有限公司高级工程师, 研究方向为战略管理与科技政策、标准化; E-mail: panjianjun@isni.cn

资助项目: 中国工程院咨询项目“中国核工业标准化发展战略咨询研究”(2019-XZ-45)

本刊网址: www.engineering.org.cn/ch/journal/sscae

一、前言

核燃料循环是核工业的重要组成部分，开发先进的核燃料及其相关材料是保证核电安全高效发展的最关键问题 [1]。标准化工作在核燃料循环产业和技术发展中发挥了重要作用。当前，国内外高度关注核燃料循环标准化研究工作，相关研究成果涉及铀矿冶标准化 [2,3]、核燃料标准化 [4]、核设施退役标准化 [5]、核安全标准化 [6] 等领域。目前，以美国、法国等为代表的核燃料循环技术先进国家，已经建立了相对完整的标准体系，在核电出口的带动下，推动本国标准成为事实上的国际标准。我国经过多年发展，初步建立了由国家标准、行业标准和企业标准构成的核燃料标准体系，在核电“走出去”的引领下，核燃料循环产业迎来了新的机遇和挑战，亟需核燃料循环标准化工作提供支撑保障并发挥引领作用。

本文作为“中国核工业标准化发展战略咨询研究”项目的学术性成果展示，分析核燃料循环标准化的发展现状，围绕核燃料循环标准化面临的形势与亟待解决的关键问题，研究核燃料循环标准化战略目标、战略任务，并提出相关政策建议，以期为我国核燃料循环标准化发展和有关部门决策提供支撑与参考。

二、核燃料循环标准化面临的新需求

（一）新发展理念对核燃料循环标准化提出新要求

标准是核燃料循环产业环境保护的硬约束，要加强节能、安全、绿色标准的制定与实施，推动核燃料循环产业的转型升级。随着生态环境保护要求的不断提高，现有标准已经不能满足绿色核燃料产业发展的需要。例如，在铀矿勘查领域，一些用于铀矿勘查的传统山地工程将不再允许实施，为此，需要突破绿色勘查关键技术，确保铀矿产业绿色发展和可持续发展，亟需研制绿色勘查技术和数字化勘查技术的相关标准。

（二）高质量发展对核燃料循环标准化提出新要求

与国外先进水平相比，我国核燃料循环产业中的部分关键环节的发展质量水平还有很大差距。例如，在铀矿地下开采领域，我国与加拿大、澳大利

亚、纳米比亚、南非等铀矿生产大国的高效采矿技术和先进采掘装备相比仍存在较大差距；在铀纯化转化领域，我国的主体设备连续稳定运行时间相对较短，检修/维修相对频繁，导致工作环境差、生产人员偏多、生产效率低。为此，核燃料循环标准需要全面提升产业发展质量和效率，强化标准的引领作用，推动核燃料循环产业开展质量变革和效率变革。

（三）自主可控对核燃料循环标准化提出新要求

我国核燃料循环产业的一些核心技术还不具有自主知识产权，只能被动执行国外标准，关键核心技术受制于人的局面尚未根本改变，仍面临诸多急需破解的瓶颈问题。如在核燃料元件领域，相关标准尚未自主可控，为此，我国核燃料元件产业今后迫切需解决的重大问题是加大核燃料元件技术研发力度，建设和完善具有自主知识产权的核燃料元件技术体系和标准体系。

（四）国际化发展对核燃料循环标准化提出新要求

随着我国“一带一路”倡议和核电“走出去”战略的实施，核燃料作为核电“走出去”的重要支撑，其技术和产品也将会进入国际市场，而产品竞争的核心是标准的竞争，迫切需要核燃料标准发挥桥梁纽带作用，抢占国际技术前沿和商业市场。当前，我国在核燃料循环产业的一些关键领域还没有形成具有自主知识产权的标准，为应对国际竞争，亟需构建具有我国自主知识产权的核燃料循环标准体系，打破技术和贸易壁垒的限制，积极推动核燃料循环产业“走出去”。

三、核燃料循环标准化发展现状

（一）国外核燃料循环标准化发展现状

1. 美国

美国标准多是由政府机构和民间标准化组织来制定的，其中民间标准化组织发挥着主导作用，这种模式能够对市场需求做出快速、准确而又灵活的反应。在核燃料循环领域，美国政府相关部门发布的标准包括“联邦管理法规第 10 部分‘能源’”（10 CFR）系列、“美国核管理委员会管理导则”（RG 系列）、美国能源部技术标准等；民间标准化

组织制定的标准包括由美国核学会 (ANS)、美国材料和试验学会 (ASTM)、美国机械工程师学会 (ASME) 等机构发布的标准。这两个层面的标准并不是孤立的, 相互之间通过大量的标准引用, 有力推动了标准的实施, 如在制定 10CFR 和 RG 系列时, 引用民间组织发布的标准达 5000 余处。

2. 法国

法国积极承担国际标准化组织的标准化技术委员会秘书处职责, 在国际标准化领域具有较强影响力。法国既有国际标准化组织核能标准化技术委员会 (ISO/TC85) 秘书处, 同时也有 ISO/TC85 辐射防护分标准化技术委员会 (ISO/TC85/SC2) 秘书处。法国利用国际标准化组织技术委员会秘书处平台和较强的标准化技术能力, 将铀产品检测方法、辐射防护等领域的大部分国家标准转化成为国际标准化组织的国际标准。另外, 法国核工业领域的标准化机构比较集中, 法国核岛设备设计和建造规则协会 (AFCEN) 是法国核工业标准化工作的主要机构。AFCEN 编制的核电厂设计与建造 (RCC) 系列标准涉及核电、核燃料、核聚变等核工业多个领域, 在国际上也具有较强的影响力。

3. 俄罗斯

俄罗斯高度重视标准化工作, 建立了统一的管理体制, 积极推动跨国标准、国家标准、行业标准的制定; 重视标准的复审工作, 积极推动缩短国家标准的编制周期。为更好促进核工业发展和服务核电技术出口, 俄罗斯在核技术标准方面逐步加强标准化体系建设工作。俄罗斯国家原子能集团公司 (Rosatom) 是俄罗斯核工业的核心企业, 积极参与标准化工作, 制定了核技术标准战略。

综上, 通过分析美国、法国、俄罗斯等国家在核燃料循环标准化方面所做的工作, 我们可以看出: 一是要重视民间标准化组织的作用, 加强团体标准建设; 二是要重视国际标准化工作, 以标准带动和引领产业“走出去”; 三是要加强企业标准建设, 筑牢标准基础。

(二) 我国核燃料循环标准化发展现状

1. 我国核燃料循环标准体系基本形成

我国核燃料循环现行有效标准近 900 项, 其中国家标准有 180 项、核行业标准有 700 项、能源行

业核电标准有 20 项, 涉及铀矿地质勘查、铀矿采冶、铀纯化转化、核燃料元件、核设施退役与放射性废物处理、辐射防护与核安全等多个领域。

在标准总量方面, 现行有效的核燃料循环标准还不能满足我国核工业产业发展的需要, 特别是在核燃料循环后段缺口较大; 在标准技术先进性方面, 与美国、法国等国家相比, 我国现行有效的核燃料循环标准总体上还处于跟跑水平, 具有自主知识产权的标准不能覆盖所有核心关键技术, 能够引领产业发展的标准数量偏低。因此, 我国核燃料循环标准在数量和先进性上都有较大提升空间。

2. 我国核燃料循环标准实施效果显著

我国核燃料循环标准建设起步于 20 世纪 80 年代, 限于技术敏感性和国外管控, 相关标准大多是基于我国核燃料循环的科研与生产实践经验的总结编制而成的, 如铀矿地质勘查、铀矿采冶、铀纯化转化、核燃料元件、核设施退役与放射性废物处理等领域的标准基本上都是根据我国自主技术编制而成; 少量标准是在吸收借鉴国外标准的基础上、再结合我国实践经验转化而制定的, 如核安全、辐射防护等领域的标准, 借鉴了国际原子能机构 (IAEA) 的相关导则和技术文件。我国核燃料循环标准体系的建设反映了我国科研生产的需要, 并得到了良好的推广和应用, 为科研生产发挥了重要的支撑作用。

四、核燃料循环标准化发展面临的问题

(一) 工作机制不健全, 制约了标准化支撑保障作用的发挥

“十二五”以来, 我国核燃料产业通过自主研发, 形成了一批重要的、具有自主知识产权的科研成果, 积累了宝贵经验, 但却没有及时转化为相关的技术标准, 如我国已建成具有完全自主知识产权的全球第一条工业规模的高温气冷堆元件生产线, 但相关标准的编制却刚刚起步。

标准实施的推动机制和反馈机制有待健全。目前, 法律和标准的融合程度不够, 与美国、法国等国家相比, 我国法律对标准的引用不多, 技术标准的地位有待提升, 标准实施有待加强。反观, 美国 10CFR 中大量引用了本国的相关技术标准, 法国《法国核设施安全法规汇编》引用了 RCC 标准。

当前我国标准的实施反馈机制还不健全，标准发布部门对标准使用情况掌握程度不够，标准实施单位反馈意见的渠道不畅，这在一定程度上制约了标准质量的进一步提升。

标准化激励机制有待健全。标准化工作需要科研生产单位进行持续投入和长期积累，但产生的经济和社会效益短期内不太明显且无法量化。为此，我国核燃料循环产业科研生产单位的标准化工作积极性和主动性还有待进一步激发。

（二）核燃料循环标准发展不平衡，后段标准缺口较大

长期以来，在核电等产业发展需求的带动下，我国在核燃料循环前段标准化领域开展了大量工作，如在铀矿地质勘查、铀矿采冶、铀纯化转化、核燃料元件等核燃料循环前段领域初步建立了与科研生产相配套的标准体系；但在核燃料循环后段领域投入不足，标准缺口较大，如在乏燃料运输、后处理、核设施退役及放射性废物治理等领域，标准数量还不能满足产业发展需求。

（三）核燃料循环标准技术水平有待提高，标准的引领作用不够

我国核燃料循环领域的一些技术标准以引进转化为主，核燃料循环标准技术水平总体上处于跟跑水平。与美国、法国等先进国家相比，我国在燃料元件制造、后处理、核设施退役及放射性废物治理等领域还存在较大差距。基础材料领域的一些核心技术标准还不具有自主知识产权，具有引领性的高水平标准数量低。

（四）标准化支撑保障能力不强

我国核燃料循环领域的标准体系对本行业的支撑与保障能力有待提升。具体来看，对重大工程的标准化支持能力不足，部分标准与科研生产实际、工程需求结合不够，支撑保障作用不突出；标准国际化能力亟待加强，与 ASME、AFCEN 等先进标准化组织相比，我国在国际标准化工作中的话语权较弱，在国际竞争中处于跟随角色；标准化基础研究能力不强，由于基础数据积累不够，一些技术标准的关键指标只能参考国外标准，再加上试验验证

设备缺乏，无法开展适合我国实际的符合性验证。

五、核燃料循环标准化的主要任务

为充分发挥标准的规范和引领作用，预计到 2025 年，我国核燃料循环标准体系基本健全，关键领域标准普遍完善；到 2035 年，形成完整的核燃料循环标准体系，标准整体质量和先进性显著提升，国际标准化水平大幅提升，国际影响力显著增强。为实现上述目标，今后我国核燃料循环标准化工作需要开展的主要任务具体如下。

（一）补齐核燃料循环后段标准短板，推动核燃料循环产业可持续发展

开展乏燃料运输、核设施退役及放射性废物治理标准建设，将标准化与核设施退役等重大工程任务同论证、同部署、同实施，补足核燃料循环后段标准短板，发挥标准对核燃料循环后段的支撑和保障作用，解决核能发展的后顾之忧，助力核燃料循环、核能产业可持续发展。

1. 乏燃料运输标准

结合国际和国内对乏燃料运输的相关要求，开展乏燃料“公海铁”联运标准体系研究和制定工作，重点围绕乏燃料运输容器、包装、运输过程在线监控、辐射监测、路径选择、运输站场、运载工具、运输组织、综合管理、质量保证等开展相关标准的制定/修订工作，建立健全乏燃料“公海铁”联运技术标准体系，保障乏燃料运输有序进行。

2. 后处理标准建设

构建适用于我国后处理发展路线的标准体系。重点开展湿法后处理临界安全、辐射安全、工业安全，后处理总体、主工艺系统、辅助工艺系统、建（构）筑物设计，后处理化工设备、机械设备、仪控电设备、监测设备和后处理专用材料，后处理调试，工艺控制、分析、产品、检验、维修，运行限制和条件，乏燃料运输容器、辐射监测、应急安全等领域的标准研制。

3. 核设施退役及放射性废物治理标准建设

按照 IAEA 的最新要求，开展铀矿冶设施退役、退役治理辐射安全与环境保护、放射性废物最小化、高放废液处理、放射性轻微污染物解控、放射性

废物处置、退役技术、退役终态、核设施退役费用、深地质处置等领域标准研制。开展选址和场址评价技术、地质处置现场试验技术、地质处置工程及工艺技术、地质处置安全评价技术等高放废物地质处置标准研制，与高放废物地质处置地下实验室工程同步开展标准研制。与 101 堆退役工程相同步，开展研究堆退役标准研制，全面建立研究堆退役标准体系。

（二）加大关键核心技术标准研制，推动核燃料循环产业自主可控发展

重点开展核燃料循环中关键设备、仪器仪表、关键材料的标准化研究。一方面，避免核燃料循环的生产受制于人，保障核材料、核燃料的稳定供应；另一方面，加强知识产权、专利与标准化之间的互动，协同发展，共同促进，占领技术高地，增强核心竞争力。

开展先进核燃料元件标准体系构建和关键标准研制，在总结三代压水堆燃料元件、高温气冷堆燃料元件、AP1000 燃料元件经验的基础上，研究构建三代压水堆燃料元件、高温气冷堆燃料元件标准体系。与微堆燃料元件、钍基熔盐堆、快堆钚铀氧化物混合（MOX）燃料、事故容错（ATF）燃料、环形燃料、铅冷快堆燃料等新型燃料元件的研发同步，开展相应关键标准的研制。开展关键材料标准研制，以核级锆合金、耐辐照材料等自主研发技术为基础，加强关键材料标准研制，将专利与标准化结合，发挥标准的引领作用。

（三）加强先进标准研制，推动核燃料循环产业高质量发展

先进标准可带动从基础材料、关键设备、关键工艺到重大装备乃至整个产业链的能力提升。在铀纯化转化等已基本掌握核心技术的产业领域，以全面提升标准质量为目标，重点开展铀纯化转化升级换代技术标准编制，促进产业提质增效，支撑产业转型升级，发挥标准助力绿色发展、标准引领高质量发展的作用。

（四）强化前沿基础标准建设，推动核燃料循环产业创新发展

依据材料辐照试验，收集整理相关数据，制定

材料辐照性能标准，为燃料设计开发提供参数，以用于核设施退役等工作的标准支撑；在临界试验的基础上，研究制定临界计算标准，用于指导乏燃料运输、贮存等。充分利用现有的试验验证设备资源，开展标准关键要素、核心技术指标的准确性验证，加强标准基础研究工作，加大标准自主攻关，全面提升标准的适用性。

（五）加强安全环保标准建设，推动核燃料循环产业绿色发展

围绕安全、绿色发展需求，重点开展绿色和数字化铀矿地质勘查采冶标准，推动核燃料循环产业可持续发展，开展绿色勘查技术和数字化勘查，绿色矿山和数字化矿山设计、运行以及共伴生放射性资源开发相关标准研制，构建绿色矿山标准体系；重点开展核与辐射安全标准研制，推动辐射防护材料屏蔽性能测试方法，超铀核素作业设施及工作场所的现场防护，职业照射、公众照射与生态环境保护，核燃料循环设施安全分析及技术审查、核与辐射应急准备和响应等领域标准研制。

（六）深度参与国际标准化工作，扩大中国标准国际影响力

1. 积极输出中国提案，为国际标准贡献智慧

加大国际标准提案的推送力度，及时将技术先进、条件成熟的标准提案向国际标准化组织申报立项。一方面，在辐射安全、铀产品及分析方法、退役与放射性废物处理等领域，积极提出中国提案，主导制定国际标准；另一方面，以“华龙一号”核电燃料、铀矿勘查和采冶、高温气冷堆燃料、研究堆低浓核燃料元件等我国具有自主知识产权的先进核燃料技术和产品为基础，开展国际标准的研制，适时提出提案申请。

2. 积极开展国际标准方面的交流与合作

组织我国专家加入国际标准编制组，深度参与标准编制活动，积极参加国际标准化学术活动，进一步提升我国在 ISO 组织中的影响力；提升我国标准化机构的国际标准化能力，积极承担区域或国际会议；有序推动国际标准的编制和开展相关技术管理工作，履行相关工作组召集人职责，全力做好工作组内部技术协调和引导工作；做好技术储备和专业人才培养，适时申报 ISO/TC85 的其他分技术委

员会秘书处。

3. 推动区域标准建设，提升国际标准的采标率

加强与“一带一路”、《区域全面经济伙伴关系协定》(RCEP)国家和地区的合作交流，推动区域标准建设，共享标准化成果，助力核电、核燃料产业的合作。支持 ISO/TC85 国际标准的国内转化研究，提升国际标准采标率，与国际接轨；同时积极跟踪 ASTM、AFCEN 等国外先进标准化组织发布的标准，积极学习国外先进经验。

(七) 强化标准化基础能力建设，推动核燃料循环产业长远发展

以整体提升核燃料循环标准化能力为目标，重点建立核工业标准高端智库、核工业标准服务平台、核燃料循环标准试验和验证平台，推动核燃料循环标准化高端人才、信息化和试验验证能力建设，为核燃料循环产业提供高质量的标准化支撑。

1. 建立核工业标准高端智库

充分发挥核工业标准化信息、资源、人才高地的交互和溢出效应，联合核工业领域各企事业单位、行业协会、高等院校，共同打造核工业标准化高端智库；形成高水平工作团队，研究核工业发展规划、技术路线、需求对接等，为核工业标准化顶层设计提供专业技术支撑，为核工业标准化发展提供专业技术服务。

2. 建设核工业标准化服务平台

建立核工业标准数据库，涵盖产品标准、技术标准等，为核工业相关的各级主管部门、科研生产部门提供技术支撑；建设开放、共享的核工业标准咨询服务平台，开发服务门户网站和移动端应用程序(APP)，构建智能化数字服务新模式；健全覆盖标准全生命周期的标准化服务能力，包括标准前期研究、标准制定/修订、标准使用、标准效果评价和信息反馈等方面。

3. 搭建核燃料循环标准试验和验证平台

组织各相关单位共同构建核燃料循环标准试验和验证平台，充分利用已有资源优势，共享试验设备和仪器，加强“产学研用”协同创新；依靠平台资源优势，提升标准的验证和评价能力，促进质量提升，开展核燃料循环测试标准的验证和评价的服务工作，提高核燃料循环标准的权威性。

六、政策建议

(一) 推动核燃料循环标准化纳入核工业“十四五”发展规划

核燃料循环标准化工作是核工业领域科研生产的重要组成部分，建议国家有关部门将其纳入核工业“十四五”行业发展规划中，下设核燃料循环标准化“十四五”发展规划专题，顶层布局，统筹考虑，有序推进核燃料循环标准化的发展，为我国核工业发展提供标准支撑。

(二) 健全标准化工作机制

1. 建立重大科研及工程项目的实施与标准研制协同机制 [7]

借鉴航空、航天等领域标准化工程的先进经验，加强标准化与科技创新的协同发展，建立标准化工作与重大科研及工程项目协同机制。建议在重大科研及工程项目中设置标准化专职负责人员，配套标准化专项经费，强化标准化与重大科研及工程项目的协同机制，实现同步规划、同步建设、同步验收；建立重大工程、科研项目标准化工作验收机制，将标准化验收作为重大工程、科研项目验收的重要内容之一，及时收集整理和固化技术攻关成果，打通创新成果向标准转化的渠道；建立核燃料循环工程项目的标准化水平评价体系，提高工程的标准化程度，为工程复制、规模化发展提供技术支持，切实发挥标准化对重大科研及工程项目的基础性支撑保障作用。

2. 建立标准贯彻实施机制

完善相关规章制度，在政府采购、国家重大工程招标、工程项目评审、安全生产评审中引导采用我国标准，将采用自主标准的比例作为政府开展相关工作的一项重要参考指标和企业税收优惠、市场准入简化手续等优惠措施的重要依据，提高行业研究和应用自主标准的积极性。

加强标准实施的监督力度，建立标准复审常态化工作机制，明确标准实施评价方法和标准监督管理要求；加强宣传和贯彻实施，通过宣讲培训、技术交流等方式，多渠道、多层次开展核燃料循环标准宣传贯彻工作；开展标准实施效果评价方法和标准监督管理机制研究，搭建标准实施反馈平台，采集标准实施的相关数据，分析掌握标准实施情况，

优化实施反馈机制,形成标准“实施-反馈-提升”的良性循环。

(三) 加大核燃料循环标准化的经费投入

核燃料循环产业属于国家战略产业,市场化程度偏低,建议国家主管部门建立核燃料循环标准化工作专项补贴机制,在标准编制、标准实施、标准基础研究等方面加大经费投入和资金支持,并保持投入的连续性;对核工业标准化专业机构给予专项工作经费,提升标准化工作的支撑和保障能力。

(四) 加强标准化人才队伍建设

加大核工业标准化技术人才和国际化人才的培养力度。在技术方面培养一批技术过硬、热衷核工业标准化事业的行业权威专家和一线专家。与 ISO、国际电工委员会(IEC)等国际标准化组织以及 ASME、AFCEN 等国外标准组织建立人才交流机制,选派标准化技术人员和管理人员进行交流访问,培养一批精通核工业标准化知识、熟悉国际标准化活动规则、具备相应的组织协调能力和良好外语沟通能力的标准化复合型人才 [8]。

参考文献

[1] 李冠兴,周邦新,肖岷,等.中国新一代核能核燃料总体发展战略研究[J].中国工程科学,2019,21(1):6-11.
Li G X, Zhou B X, Xiao M, et al. Overall development strategy of China's new-generation nuclear fuel [J]. Strategic Study of CAE, 2019, 21(1): 6-11.

[2] 董芳芳,李国青,吴潜.我国铀矿冶安全环保标准化现状浅析[J].核标准计量与质量,2016(2):12-16.
Dong F F, Li G Q, Wu Q. Analysis on the current situation of safety and environmental protection standardization of uranium mining and metallurgy in China [J]. Nuclear Standard Measurement and Quality, 2016 (2): 12-16.

[3] Taghvaeenezhad M, Shayestehfar M, Moarefvand P, et al. Quantifying the criteria for classification of mineral resources and reserves through the estimation of block model uncertainty using geostatistical methods: A case study of Khoshoumi Uranium deposit in Yazd, Iran [J]. Geosystem Engineering, 2020, 23(4): 216-225.

[4] Herbst R S, Baron P, Nilsson M. Standard and advanced separation: PUREX processes for nuclear fuel reprocessing [J]. Advanced Separation Techniques for Nuclear Fuel Reprocessing and Radioactive Waste Treatment, 2011: 141-175.

[5] 姜星斗,赵奔,沈楨琪,等.核设施退役技术标准体系建设探索[J].产业与科技论坛,2018,17(9):77-79.
Jiang X D, Zhao B, Shen Z Q, et al. Exploration on the construction of technical standard system for decommissioning of nuclear facilities [J]. Industrial & Science Tribune, 2018, 17(9): 77-79.

[6] Gopalakrishnan R K. Summary of IAEA safety standards series No. SSG-42: Specific safety guide on "Safety of nuclear fuel reprocessing facilities"(May 2017) [J]. Radiation Protection and Environment, 2017, 40(2): 103-105.

[7] 康椰熙.核工业技术标准发展战略探讨[J].核标准计量与质量,2009(3):5-13.
Kang Y X. Discussion on the development strategy of nuclear industry technical standards [J]. Nuclear Standard Measurement and Quality, 2009 (3): 5-13.

[8] 刘尚源,孙业丛,魏然,等.关于推进我国核能领域国际标准化工作的若干思考与建议[J].中国标准化,2020(6):38-46.
Liu S Y, Sun Y C, Wei R, et al. Reflections and prospects on promoting China's participation in the international nuclear energy standardization work [J]. China Standardization, 2020 (6): 38-46.