

引用格式: 刘攀, 冉小兵. 中国核电机械设备自主标准体系构建与落地应用路径建议[J]. 标准化学报, 2026(10): 129–138.
LIU Pan, RAN Xiaobing. Suggestions on the Construction and Implementation Path of an Independent Standards System for Nuclear Power Mechanical Equipment in China[J]. Journal of Standardization, 2026(10): 129–138.

中国核电机械设备自主标准体系构建与落地应用路径建议

刘攀^{1,2} 冉小兵¹

(1.中广核工程有限公司; 2. 核电安全技术与装备全国重点实验室)

摘要: 【目的】为推进国内核电行业能源结构优化、实现“双碳”目标、保障国家能源安全, 解决我国核电机械设备领域长期依赖国外标准、自主标准落地应用不足、与HAF/HAD核安全监管体系衔接薄弱的问题。【方法】立足核电设备制造产业实际发展情况, 剖析自主标准建设的现实条件与合规风险, 梳理标准推广应用中的短板, 构建以战略引领、数字赋能、文化浸润、协同共治为核心的核电机械设备自主标准体系框架, 并结合产业特征提出可落地的实施路径。【结果】形成一套适配我国核电产业发展的自主标准体系架构与可落地推进路径。【结论】可为促进自主标准推广应用、提升核电机械设备领域自主可控能力提供理论支撑与实践参考。

关键词: 核电; 机械设备; 自主标准; 体系框架; 核安全监管

DOI编码: 10.3969/j.issn.2097-857X.2026.10.013

Suggestions on the Construction and Implementation Path of an Independent Standards System for Nuclear Power Mechanical Equipment in China

LIU Pan^{1,2} RAN Xiaobing¹

(1.China Nuclear Power Engineering Co., Ltd.; 2.State Key Laboratory of Nuclear Power Safety Monitoring Technology and Equipment)

Abstract: [Objective] The study aims to optimize the energy structure in the domestic nuclear power industry, achieve the carbon peak and carbon neutrality goals, and ensure national energy security, so as to solve the problems in China's nuclear power machinery and equipment sector, such as long-term reliance on foreign standards, insufficient application of independent standards, and weak connection with the HAF and HAD nuclear safety regulatory systems. [Methods] Based on the actual development of the nuclear power equipment manufacturing industry, this study analyzes the practical conditions and compliance risks of independent standards construction, sorts out the existing shortcomings in the promotion and application of standards, constructs an independent standards system framework for nuclear power machinery and equipment with strategic guidance, digital empowerment, cultural infiltration and collaborative governance as the core, and proposes implementable paths according to industrial characteristics. [Results] A set of independent standards system architecture and implementable promotion paths suitable for the development of China's nuclear power industry has been formed. [Conclusion] This study can provide theoretical support and practical reference for promoting the

作者简介: 刘攀, 博士, 正高级工程师, 研究方向为机械设备结构完整性分析。

popularization and application of independent standards and improving the independent and controllable capability in the field of nuclear power machinery and equipment.

Keywords: nuclear power; mechanical equipment; independent standards; system framework; nuclear safety supervision

0 引言

自1985年秦山核电站开工建设以来,中国核电产业历经四十余年探索发展,成功实现从“技术引进、消化吸收”到“自主创新、自主制造”,从“单机零散建设”到“规模化、批量化发展”的跨越式突破,逐步构建起涵盖设计、制造、建造、运行、维修、退役全生命周期的完整核电产业链体系,成为全球核电发展的重要增长极。在全球“双碳”目标深入推进的大背景下,核电作为清洁、低碳、安全、高效的基荷能源,被各国列为能源结构转型的关键抓手。我国多项国家级发展规划^[1]也明确将核电定位为现代能源体系中的重要组成部分,为核电产业持续健康发展提供了坚实政策保障。

截至2025年底,我国核电产业发展成效显著。全国核电发电量达4 600亿千瓦时,同比增长4.91%,占全国总发电量的4.82%,较2015年提升1.81个百分点,在能源结构中的战略地位持续凸显;中国大陆地区商运核电机组达59台,总装机容量6 200万千瓦,稳居全球第三,在建核电机组44台(含核准待建),在建规模位居全球首位,充分展现了我国核电产业蓬勃发展的态势^[2]。依托规模化建设,我国已带动5 300余家上下游供应商形成完善的产业配套体系,涵盖核岛、常规岛、辅助设备等领域,中国一重、哈电集团、上海电气等龙头企业已突破核岛主设备核心制造技术,“华龙一号”“玲龙一号”等自主机型设备国产化率超95%,在设备制造、工程建设、运行维护等方面积累了丰富的实践经验,为自主标准的研制与推广奠定了坚实的产业基础^[3]。

尽管我国核电产业取得了举世瞩目的成就,但核心环节存在结构性短板。长期以来,我国核电机械设备的的设计、制造、建造、检验、运维等关键环节的技术要求,高度依赖美国ASME标准、法国RCC-M标准等国外标准体系,尚未形成自主标准全流程工程应用模式。我国自主制定的核心标准GB/T 16702—2025《压水堆核电厂核岛机械设备设计规范》系列标准^[4]虽已正式颁布实施,但尚未在实际核电项目中推广应用,且该标准与我国HAF(核安全法规)、HAD(核安全导则)^[5-7]的衔接不够紧密,存在诸多合规风险与应用隐患。这种对国外标准的长期依赖,不仅制约了我国核电产业的自主可控发展,增加了设备制造与项目建设成本,更导致我国四十余年积累的工程实践经验未能转化为自主标准竞争力,难以彰显我国核电产业的核心竞争力,成为核电技术与装备“走出去”的重要制约因素。

核电机械设备标准是核电产业协同运行的技术基础,是保障核电机组本质安全、推动核安全监管要求落地的核心载体,更是国家核工业软实力与技术竞争力的集中体现。基于此,本文立足我国核电产业发展现状^[8],聚焦核电机械设备自主标准推广应用、产业链协同适配、核安全监管衔接等核心问题,系统剖析当前自主标准发展中存在的短板,结合HAF、HAD等核安全监管要求,依托国家“十五五”发展规划,对构建科学完善的自主标准体系框架提出建议,并提出贴合产业实际的落地应用措施,旨在推动我国核电机械设备标准从“跟跑”向“并跑”“领跑”转变,助力我国核电产业实现从“核电大国”向“核电强国”的跨越,为保障国家能源安全、实现“双碳”目标^[9-10]

提供有力支撑。

1 中国核电机械设备自主标准发展现状

1.1 自主标准发展的现实基础

在产业制造端,我国已实现核电机械设备核心技术自主化突破,形成一批具备核心竞争力的装备制造企业。经过多年技术攻关,国内龙头企业已掌握反应堆压力容器、蒸汽发生器等核岛关键设备,以及汽轮机、发电机等常规岛主设备的设计制造技术,打破了国外企业的技术垄断,实现了核心设备的国产配套。我国自主研发的“华龙一号”“玲龙一号”等自主化堆型,设备国产化率均超过95%,其中“华龙一号”已在国内多个项目落地实施,其设备制造经验为自主标准的制定提供了丰富的技术素材与实践支撑,使自主标准具备了贴合产业实际的落地基础。

在标准体系端,我国核电标准体系建设取得阶段性进展,已逐步摆脱“无标可依”的困境。截至目前,我国已发布核电相关标准900余项,涵盖核电设计、制造、建造、运维及退役等环节,初步形成了“覆盖全面、重点突出”的标准体系。同时,我国核安全监管体系日趋完善,HAF(核安全法规)、HAD(核安全导则)为核电机械设备自主标准的研制提供了明确的监管依据。2018年,国家能源局发布的《关于推动核电标准自主化工作的指导意见》^[11],明确了核电标准自主化、体系化、国际化的发展方向,为自主标准体系建设提供政策指引。

1.2 自主标准发展的历史进程

1996年首次发布的GB/T 16702—1996《压水堆核电厂核岛机械设备设计规范》(已废止)是以RCC-M 1983年版第一卷及其后的4个补遗为基础转化制定的。自该版标准发布以来,中国的核电发展天翻地覆,成为世界上核电发展最快的国家。为适应核电发展形势,2009年6月,国家能源局印发的《压水堆核电厂标准体系建设规划》提出要完善我国核电标准体系的目标,其中包括了GB/T 16702的修订升版项目。受2011年福岛核事

故引发的核电行业低谷影响,此次修订版于2019年正式发布,但因当时“华龙一号”已进入工程实施阶段,未能形成规模化应用场景。2020年,在第七十五届联合国大会上中国政府做出承诺“双碳”目标。考虑到中国核电发展需求,国家标准化管理委员会下发《国家标准化管理委员会关于下达2023年第一批推荐性国家标准计划的通知》,重启GB/T 16702和配套标准在新形势下的修订工作。新版标准于2025年发布,标志着我国核电机械设备自主标准进入体系化完善阶段。

1.3 自主标准体系的核心价值

构建核电机械设备自主标准体系,是实现核电产业自主可控、安全高效、高质量发展的基础性工程。

(1)自主标准体系有助于保障国家能源安全与产业自主,摆脱对国外标准的长期依赖,降低技术封锁与标准受限风险,形成适配我国技术路线、制造能力与工程实践的标准化体系,实现设计、制造、检验、运维全流程自主可控,牢牢掌握标准发展主动权。

(2)自主标准体系有助于提升产业运行效率与成本竞争力,统一产业链技术要求,推动装备规模化、标准化制造,降低协同成本,同时固化先进工程经验,倒逼技术创新,培育核电领域新质生产力。

(3)自主标准体系有助于强化核安全保障能力,深度对接HAF/HAD监管体系,将核安全要求转化为可执行、可审评、可验证的技术准则,提升标准合规性与本质安全水平。

(4)自主标准体系是国家工业软实力的重要体现,有助于推动我国核电从工程实践领先迈向标准引领,将产业优势转化为标准优势,为核电技术与装备“走出去”提供核心支撑,提升我国在全球核电治理体系中的话语权^[12]。

1.4 自主标准推广的核心挑战

当前,我国核电机械设备自主标准体系建设已进入工程化落地的关键阶段,但在产业实践中仍面临认知、合规、协同、创新等多维度现实制

约,自主标准从“建起来”到“用起来”仍存在明显障碍。从内部运行看,行业对自主标准的战略价值认识不足,长期形成的国外标准使用惯性尚未根本扭转,标准与产业链实际需求、企业业务流程适配性不足,全链条协同执行机制尚不健全。从外部监管看,自主标准与HAF、HAD核安全监管体系的深度衔接仍有不足,合规性支撑与审评配套体系不够完善,影响标准在实际工程中的认可度与适用性。从长远发展看,现有标准对前沿技术融入不足,数字化、智能化支撑能力偏弱,人才、机制、平台等配套保障体系尚不健全,难以满足核电产业高质量发展与技术迭代要求。上述问题相互交织、叠加影响,共同构成我国核电机械设备自主标准推广应用的核心瓶颈。

2 核电机械设备自主标准推广应用的风险

2.1 行业对自主标准的战略价值认知不足

当前,我国核电行业部分主体对自主标准的战略意义与核心价值认知存在明显偏差,未能树立“标准就是软实力、标准就是竞争力、标准就是核安全”的核心理念。(1)认知维度存在偏差,部分企业与监管机构过度强调核电安全的保守性原则,未将安全保障与成本控制、协同发展思路充分统一,忽视了自主标准在提升产业链效率、降低全生命周期成本、增强产业整体竞争力中的核心作用,导致标准制定与推广中过度追求冗余设计,抬高设备制造成本,削弱了企业执行自主标准的积极性与动力;(2)功能定位存在偏差,将标准简单等同于“合规门槛”,缺乏主动参与标准研制、推动标准创新的内生动力,致使标准内容与我国核电装备制造技术优势、工程实践需求脱节,难以充分体现我国四十余年的核电工程实践经验;(3)对国外标准存在强烈的依赖惯性,部分设计、制造、运维企业甚至监管人员长期沿用美国ASME、法国RCC-M等国外标准,对GB/T 16702—2025等自主标准的技术优势、应用价值与合规路径认知不足,缺乏依托自主标准开展核

电机械设备全流程设计建造的意识,也未主动推动自主标准与HAF、HAD的衔接优化,制约了自主标准的推广落地。

2.2 自主标准与产业流程脱节,未形成协同闭环

我国核电机械设备自主标准体系在运行实践中,存在多重与产业实际不贴合的突出问题,导致标准与产业流程脱节,未能构建“制定—实施—反馈—优化”的闭环机制。(1)标准与企业实际业务流程适配性不足,GB/T 16702—2025部分条款仍沿用国外标准思路,表述过于原则化,缺乏结合我国制造工艺的操作细则与技术指引,可操作性不强,企业在执行过程中难以准确把握;(2)产业链上下游标准协同不畅,核电设计、制造、建造、运维、退役等各环节的标准存在交叉重叠或空白现象,上下游主体及执行机构之间的标准不统一,导致设备接口不兼容、技术要求不一致、验证不互通,既增加了产业链成本,也带来了安全隐患;(3)标准实施反馈机制不完善,缺乏有效的渠道收集设计单位、装备制造企业、核电项目业主、监管机构、科研单位对标准实施效果的反馈意见,标准更新迭代滞后,难以适配产业技术升级与核安全监管变化的需求;(4)自主标准的配套支撑体系不健全,GB/T 16702—2025缺乏相应的检验规范、认证规则、操作手册及运维退役等环节的支撑文件,行业内部分企业对自主标准的接受度低、执行不到位,制约了自主标准的规模化推广与落地实施。

2.3 标准制定与监管协同不足,高标准供给短板突出

在监管协同方面,我国核电自主标准的制定单位与监管部门之间存在协同机制不畅的问题。核电标准的制定与安全审评分属不同主体与管理流程,信息共享与联合工作机制不健全,导致标准内容与监管要求衔接不紧密。GB/T 16702—2025标准的安全审评流程不够顺畅,审评效率不高,影响了标准的工程化应用。

在高标准供给方面,我国核电机械设备自主标准与国际先进水平相比仍存在明显差距,难以

满足高质量发展需求。(1)标准技术水平偏低,部分标准仍停留在对国外标准的模仿与借鉴阶段,缺乏自主创新,在智能化制造、绿色制造、数字化交付等新兴领域的标准供给短缺,难以适配核电设备技术升级的需求;(2)标准体系完整性不足,部分领域的标准覆盖不全面,尤其是检测验证基准、在役运行评价、设备退役策略等环节存在明显短板,无法形成覆盖核电机械设备全生命周期的标准支撑体系;(3)与HAF、HAD等核安全监管法规的衔接深度不足,未能将监管要求细化为具体的技术准则与操作规范,导致标准的合规性不足;(4)落地支撑体系不完善,设计单位、科研机构、高校、审评单位与装备制造企业、建造企业、运维企业之间的协同创新不足,标准研制与技术研发、人才培养、工程验证脱节,缺乏兼具核电技术、标准知识、监管要求的专业人才,影响了自主标准的质量提升与推广应用。

3 构建贴合产业实际的四位一体自主标准体系框架

为系统性破解我国核电机械设备自主标准在监管衔接、产业链协同、工程落地与迭代升级方面的突出问题,基于产业实践、监管要求与技术趋势,构建以全生命周期管理为主线的核电机械设备自主标准体系框架,形成闭环治理结构,推动标准体系从理念层面转向可落地、可执行、可评估、可迭代的工程化体系。

核电机械设备自主标准体系构建框架如图1所示。

3.1 锚定自主标准发展的核心方向

构建自主标准体系,首先要强化战略引领,结合我国核电产业发展实际,锚定自主标准发展的核心方向,将自主标准建设上升为行业与企业中

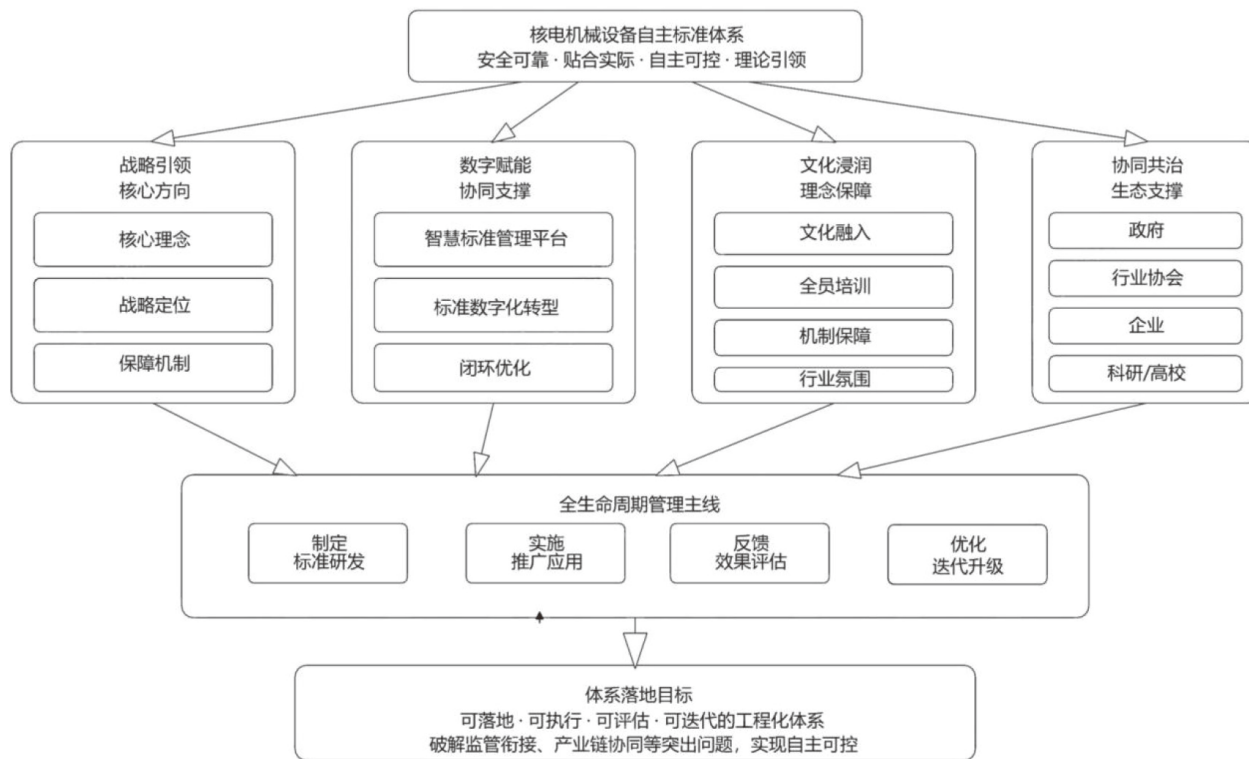


图1 核电机械设备自主标准体系构建框架

长期发展战略,进行统筹布局。(1)树立“标准引领发展、自主保障安全、标准彰显软实力”的价值导向,引导行业各主体充分认识自主标准的战略价值,摒弃长期以来被动套用国外标准的惯性思维,依托我国核电装备制造技术积累与数十年工程实践经验,主动推进本土自主标准体系梳理,促进标准研制、修订与全域推广;(2)以“安全可靠、贴合实际、自主可控、理论引领”为建设原则,明确标准化建设目标、重点任务与实施路径,将标准体系建设纳入行业“十五五”规划与企业发展战略,优先选取采用新一代“华龙一号技术”、自主化程度高、代表性强的核电项目,推动自主标准的试点应用,并与验证优化同步建立标准差异分析、关键技术攻关、问题反馈与闭环改进机制,确保自主标准在设计、建造、运维等关键环节切实落地,形成稳定可复制的工程应用模式。

3.2 打造产业链数字化支撑能力

依托大数据、人工智能、数字孪生等新一代信息技术,推动核电机械设备自主标准体系数字化、智能化转型,构建覆盖全生命周期、贯穿全产业链的标准数字化支撑架构,以数字赋能破解上下游信息不对称、执行不一致、协同效率低等突出问题,为自主标准体系高效运转与深度落地提供坚实技术保障。(1)构建一体化标准数字资源底座,全面整合 GB/T 16702—2025 核心标准、配套标准体系及 HAF、HAD 核安全法规导则要求,将文本式技术规范转化为结构化、可调用、可追溯的数字化资源,形成统一权威、动态更新、全产业链共享的标准数据资源池,从源头保障技术要求同源、规则口径统一。(2)搭建全链条协同数据贯通架构,打通设计、制造、监造、运维关键环节的数据交互接口,建立跨主体、跨专业、跨阶段的标准信息实时传递机制,实现标准条款精准传导、技术参数一致落地、执行过程全程可溯,显著提升产业链整体协同水平。(3)建立数据驱动的标准体系智能迭代机制,依托工程实践数据与实施效果反馈,动态识别标准与产业实际、技术发展、监管要求之间的适配差距,形成感知、分析、

优化、更新的数字治理能力,推动自主标准体系从静态文本向动态适配、智能演进的数字化体系升级,持续增强标准的科学性、适用性与先进性。

3.3 夯实自主标准落地的思想与技术基础

从认知、行为与技术能力层面培育贴合我国核电产业特点的“内生式”自主标准文化,破除对国外标准的深度依赖,构建崇尚自主标准、严守标准规范、保障核安全的行业文化。

(1)将自主标准意识深度融入核安全文化体系,强化“标准即安全、标准即效率、标准即竞争力”的行业共识,将自主标准理念与核安全理念、HAF/HAD监管要求一同融入核电装备制造企业、核电项目业主的核心文化,结合企业生产经营实际,推动自主标准转化为设计、制造、监造、运维等环节的行为准则与工作规范,引导员工树立“以自主标准为荣、以合规执标为责”的意识,自觉接受并执行自主标准;(2)构建分类施策、精准赋能的标准培训体系,针对管理人员、技术人员、一线操作人员等不同群体的工作特点,定制差异化培训内容,重点解读自主标准的技术要求、与国外标准的差异、本土化优势、核安全监管边界等关键内容,全面提升全员标准化素养与合规执行能力;

(3)完善贴合企业实际的标准实施机制,以示范项目、标杆企业、典型案例为载体,推广可复制的标准应用经验,传承核电行业“严谨细实”工作作风,使严格执行自主标准成为行业普遍共识与自觉行动,营造崇尚自主标准、重视标准创新的行业氛围。

3.4 构建全产业链联动的标准治理生态

结合我国核电产业链发展实际,构建“政府—行业—企业—科研机构”多元共治的产业生态,强化全产业链支撑,形成政府引导、市场驱动、多方参与的自主标准推广生态,推动自主标准体系落地实施。

(1)在监管层面强化政策引导、审评优化与监督执法,简化自主标准审批流程,出台针对性的扶持政策,为自主标准推广提供政策与资源保障;行业协会发挥桥梁纽带作用,牵头开展标准

研制与行业自律工作,结合产业链实际需求,推动上下游企业协同贯标,协调解决标准应用中的实际问题;企业落实主体责任,严格执行自主标准并深度参与标准迭代升级,将自主标准全面嵌入质量管理体系与生产运行流程;设计科研机构强化技术研究,结合核电设备制造技术发展趋势,推动核电技术创新成果向标准转化,为标准制定提供技术支撑;高校加强相关专业建设,培养兼具标准知识、核电技术、监管要求的复合型人才,为自主标准建设提供人才保障。(2)建立协同创新机制,加强企业、设计单位、科研机构、高校、审评单位之间的联动,联合开展标准攻关、试点验证、技术升级等工作,促进工程实践经验、前沿技术创新成果固化为标准规范,持续提升自主标准质量与先进性,并主动公开标准实施情况、认证评价结果等关键信息,接受社会监督,提升标准化工作透明度与行业公信力,为“四位一体”自主标准体系长效运转提供完善的生态保障。

4 核电机械设备自主标准体系落地应用的实施路径

4.1 打造贴合产业特点的标准素养培育模式

摒弃通用化的培训考核方式,构建贴合核电装备制造、核电项目运营特点的自主标准文化培育模式,推动自主标准理念深度融入行业发展实践。(1)编制《核电自主标准文化建设实操指南》,结合装备制造企业、核电项目业主的不同业务特征,将“标准引领、合规为先、自主可控”的文化理念^[13]分解为各岗位具体的行为准则,明确设计人员、制造人员、检验人员、运维人员在标准执行中的具体要求,让文化理念可落地、可执行;(2)建立“产业实践+标准理论”的培训认证体系,联合中国核能行业协会、龙头装备制造企业,依托真实核电项目案例,开发自主标准培训教材与考核题库,将自主标准及HAF、HAD相关内容,与设备设计、制造、检验的实操技能结合起来,实行“培训—实操—上岗”的闭环管理;(3)打

造“案例分享+经验交流”的行业宣传阵地,依托《核电》等行业期刊以及核电产业发展论坛,发布自主标准在实际项目中的应用案例、成效数据,开展“自主标准应用标杆企业/个人”评选,重点宣传龙头企业在执行自主标准中的实操经验,强化行业示范效应;(4)将标准文化建设纳入企业核安全体系,结合企业实际生产经营情况,将企业标准文化建设成效与企业核安全考核挂钩,倒逼企业重视自主标准文化的落地融入。

4.2 建立适配自主标准应用的全周期管控机制

(1)开展标准化体系全景梳理与动态清单管理,明确在用、缺失、待修订标准,建立年度更新与滚动优化机制。(2)搭建核电标准智慧管理平台,集成标准查询、条款解读、应用指南、问题反馈、审评协同、经验总结等功能,实现跨主体、跨环节信息互通与资源共享。(3)将文本式标准条款转化为可量化、可调用、可复用的数字化规则与设计制造模板,推动标准与数字化设计、智能制造、检验检测深度融合。(4)依托工程应用数据构建“应用—监测—反馈—优化”的数据驱动闭环,实现标准体系精准迭代、持续适配产业发展需求。

针对自主标准应用中的实际风险,构建贴合产业实际的标准化、流程化、数字化风险管控体系,实现自主标准应用风险的事前预防、事中管控、事后整改。(1)编制《标准应用风险排查实操手册》,结合核电机械设备设计、制造、建造、运维的全生命周期特点,明确安全风险、合规风险、产业链协同风险的具体排查指标、排查频次、责任主体,要求企业建立标准化风险台账,实行“识别—风险—预案—整改”的管理模式,排查结果需定期上报行业协会与监管部门;(2)建立贴合产业发展的标准动态优化流程,明确标准修订的触发条件(如技术升级、监管调整、风险排查发现问题、工程实践反馈等)、申报流程、论证机制、发布渠道,将标准优化周期纳入监管考核,确保标准能够及时适配核电设备制造技术的发展与核安全监管的变化;(3)依托智慧标准管理平台,开发

针对性的风险预警模块,接入核电项目现场运行数据、设备制造生产数据,结合不同设备、不同项目的特点,设置合规性、适配性预警阈值,实现风险的实时监测与自动预警,同时建立预警处置的分级响应机制,明确不同等级风险的处置流程与时限;(4)建立风险整改的追溯与问责机制,对风险排查中发现的问题、预警处置的结果进行全流程追溯,对因标准执行不到位、风险整改不及时造成的安全隐患或经济损失,依法依规追究企业及相关责任人的责任,形成风险管控的闭环。

4.3 搭建网格化标准管理与三道防线执行体系

结合我国核电产业链“龙头企业引领、上下游配套”的特点,将“协同共治”的组织要求转化为网格化、责任化的组织管理体系,明晰“三道防线”的具体执行职责与协同机制,确保组织保障落到实处。(1)构建核电自主标准网格化管理组织,由国家能源局、国家核安全局进行顶层统筹,核电龙头企业、核心装备制造企业、科研机构为网格核心单元,上下游中小配套企业为网格延伸单元,明确每个网格单元的标准管理责任人、联络人,建立网格间的信息共享与协同处置机制,实现标准管理的全域覆盖,让中小配套企业也能及时获取标准指导。(2)制定《三道防线职责执行实操手册》,结合企业、行业协会、政府监管部门的工作实际,将3道防线职责分解为具体的工作清单、执行流程、考核标准。企业作为第一道防线,需设立专职的标准管理部门,配备专职人员,结合生产制造实践,建立内部标准执行的自查机制;行业协会作为第二道防线,需组建专业的标准服务团队,为企业提供标准咨询、纠纷调解、经验交流等常态化服务,重点解决中小配套企业在标准执行中的实际问题;政府监管部门作为第三道防线,需建立标准监管的常态化执法机制,明确执法频次、检查内容,重点检查龙头企业的标准执行情况,发挥龙头企业的引领作用。

(3)建立跨主体的协同工作例会机制,由政府监管部门牵头,定期组织行业协会、核心企业、科研机构召开标准落地协同例会,针对标准应用中的

实际问题进行研讨,形成会议纪要并跟踪落实,确保问题能够及时解决。(4)推动企业建立标准与生产深度融合的组织架构,将标准管理部门与设计、建造、运维等业务部门深度融合,让标准管理人员全程参与设备设计、建造、运维的全流程,实现标准要求在生产各环节的无缝衔接,避免标准管理与实际生产“两张皮”。

4.4 实施产学研用一体化的标准人才培养计划

针对核电自主标准专业人才培养的实际问题,结合核电产业“技术密集、实操性强”的特点,构建产学研用深度融合的标准人才培养体系,培养贴合产业需求的专业人才。(1)联合高校、科研机构、龙头企业共建核电自主标准人才培养基地,在高校核电相关专业增设《核电自主标准体系》《HAF/HAD核安全监管实务》等核心课程,同时依托龙头企业的实际设计团队、生产车间、核电项目现场,开展校企联合实习,让学生将标准理论与产业实操结合起来,实现人才培养与产业需求的精准对接;(2)实施核电标准人才菁英计划,由国家能源局牵头,每年选拔优秀的青年标准人才、技术人才,赴国内外先进核电企业、标准制定机构交流学习,重点学习标准制定与产业实践结合的实操经验,培养兼具国际视野与本土实践能力的高端标准人才;(3)建立贴合产业实际的标准人才库,将标准背景研究、制定、推广、创新成果,以及标准在实际项目中的应用成效,纳入人才评价的核心指标,打破“重技术、轻标准”的人才评价误区,让标准人才有发展、有奔头;(4)设立核电自主标准创新奖励基金,由政府、行业协会、企业共同出资,对在标准研发、试点应用、技术转化等方面作出突出贡献的人才给予专项奖励,激发人才参与标准制定、推广的积极性与创造性。

4.5 打造一体化监管联动与结果应用体系

结合核电产业监管实际,将“监管协同”与“认证体系”要求转化为一体化、实效化的监管落地机制,强化结果的实际应用,倒逼企业主动执行自主标准,摒弃通用化的政策表述,让监管

措施更贴合产业实际。(1)建立政府—行业—企业一体化监管信息平台,整合政府监管数据、行业自律数据、企业标准执行数据,结合核电产业特点,设置标准研究、标准使用、标准审评、经验反馈等功能,实现监管信息的实时共享、联合执法的线上发起、执法结果的线上公示,落实“干中审、审中干”的审评理念,优化自主标准的安全审评流程,将审评周期压缩30%以上,提升审评效率;(2)制定《核电自主标准认证管理实施办法》,结合核电机械设备的类型与特点,明确以GB/T 16702—2025为核心的研究体系,培育一批具备核电标准释义能力的专业机构,实行动态管理,确保专业性与权威性;(3)强化结果的刚性应用,由国家发展改革委、国家能源局等部门联合发文,将具备自主标准释义能力单位作为核电项目审批、设备采购招标、政策扶持、评优评先的核心依据,明确未通过自主标准释义能力评定的企业不得参与核电项目投标,未采用自主标准的核电项目不得享受相关政策扶持,倒逼企业主动执行自主标准;(4)建立常态化监督与动态复核机制,监管部门或委托单位对通过释义能力的企业,结合企业生产实际,每季度开展1次现场抽查,每年开展1次全面复核,对不再符合标准要求的企业,立即撤销释义能力证明并向社会公示,同时取消其相关政策扶持与项目投标资格,确保监管机制的权威性;(5)出台针对性的自主标准应用扶持政策,对采用GB/T 16702—2025标准的核电项目、装备制造企业,给予税收优惠、研发补贴,对自主标准试点示范工程给予专项资金支持,重点补贴企业在执行自主标准过程中的技术改造、人员培训等成本,减轻企业执行自主标准的实际负担。

5 结语

我国核电产业历经四十余年发展,已实现从技术引进到自主创新的跨越式发展,形成规模化建设格局与全生命周期产业链体系,在建机组规

模全球领先,核岛主设备核心制造技术实现突破,自主机型国产化率稳居高位,为核电机械设备自主标准的研发与推广奠定了坚实的产业实践基础。同时,我国核安全监管体系日趋完善,HAF、HAD系列法规导则形成明确监管依据,GB/T 16702经过3轮修订,综合考虑了国内核电站设计建造的标准和要求,标志着我国核电产业已具备从工程实践领先向标准理论引领转型的核心条件^[13]。

本文通过系统剖析我国核电机械设备自主标准发展的现实基础与合规风险,明确了当前自主标准推广应用中的核心痛点:行业对自主标准战略价值的认知深度不足,国外标准使用惯性尚未破除;GB/T 16702—2025与核安全监管体系的衔接适配性有待提升,配套支撑体系尚未完善;产业链多标准并行导致协同效率偏低,标准制定与监管协同、产学研用协同的机制尚未健全;具备专业标准释义能力人才短缺,高标准供给能力与产业发展需求存在差距。针对上述问题,本文构建的战略引领、数字赋能、文化浸润、协同共治“四位一体”自主标准体系框架,从发展方向、技术赋能、文化支撑、生态构建4个维度形成了体系化解决方案,同时提出的五大落地应用路径,围绕文化培育、风险管控、组织管理、人才培养、监管认证形成了全链条实操举措,为自主标准的推广应用提供了可落地、可复制的实践参考。

未来,核电机械设备自主标准体系建设的核心方向,是推动GB/T 16702与产业实践、核安全监管、技术创新的深度融合,通过政府、行业、企业、科研机构的多元协同,破除产业链协同壁垒与国外标准思维惯性,持续优化标准条款与配套体系,提升自主标准的科学性、可操作性与权威性。一方面,需以试点应用为抓手,将核电工程实践中的技术优势与创新成果持续转化为标准内容,推动自主标准实现全生命周期覆盖,同时强化标准数字化建设,打造智慧标准管理平台,提升产业链标准执行与协同效率;另一方面,要完善人才培养与激励机制,培育兼具核电技术、标准知识、监管要求的复合型人才,夯实自主标准建设的人

才基础,同时构建刚性的监管与认证体系,通过政策引导与市场倒逼双重作用,提升行业对自主标准的接受度与执行度。

随着自主标准体系的持续完善与全面落地,我国核电产业将逐步实现标准理论的自主引领,将设备制造、工程建设的产业优势转化为标准竞争优势,推动核电标准成为我国核电出海的核心

支撑之一。这不仅能进一步提升我国核电产业的自主可控水平,降低全生命周期产业成本,更能让中国核电标准为全球核电产业发展贡献中国智慧与中国方案,推动中国核电成为彰显国家工业软实力的“国家名片”,为我国能源结构优化升级、实现“双碳”目标、保障国家能源安全提供持久且坚实的支撑。

参考文献

- [1] 中华人民共和国国务院. 中华人民共和国国民经济和社会发展第十四个五年规划和2035年远景目标纲要[M]. 北京: 人民出版社, 2021.
- [2] 国家能源局. 2025年全国电力工业统计数据快报[R]. 2026.
- [3] 国家发展和改革委员会, 国家能源局. “十四五”现代能源体系规划[R].
- [4] GB/T 16702—2025 压水堆核电厂核岛机械设备设计规范[S].
- [5] HAD102/03—2025 核动力厂构筑物、系统和部件的安全分级[S].
- [6] HAD103/11—2025 核动力厂定期安全评价[S].
- [7] HAD001/01—2025 核动力厂和研究堆核安全监管术语、缩略语[S].
- [8] 中国核能行业协会. 中国核电产业发展报告(2025)[M]. 北京: 中国电力出版社, 2026.
- [9] 中共中央, 国务院. 关于完整准确全面贯彻新发展理念做好碳达峰碳中和工作的意见[Z].
- [10] 国务院. 2030年前碳达峰行动方案[Z].
- [11] 国家能源局. 关于推动核电标准自主化工作的指导意见[Z]. 2018.
- [12] 祝楷. 核工业安全生产标准体系研究[J]. 标准科学, 2025(5): 17-23.
- [13] 曾亚川. 推动核电高质量发展迈上新台阶[J]. 中国核电, 2026, 9(1): 1-5