

人工智能发展趋势下我国核电厂仪控电标准体系 建设工作的思考

■ 焦丽玲

(中核战略规划研究总院核工业标准化研究所)

摘 要：标准是经济活动和社会发展的技术支撑，是国家基础性制度的重要方面。立足人工智能新发展阶段，需进一步加强我国核电厂仪控电国际标准、国家标准有效供给，不断加强推荐性国家标准的管理，着力构建推动高质量发展的国家标准体系，以标准促进科技创新成果转化，支撑国内国际标准化建设，充分发挥标准化在推进国家治理体系和治理能力现代化建设中的基础性、引领性作用。本文针对目前国际国内核电厂仪控电标准的现状，结合人工智能国际国内形势，提出完善国家标准体系的建议，促进国内国际标准化建设工作，充分发挥标准引领科技高质量发展的作用。

关键词：人工智能，国家标准，核电厂仪控电标准体系建设

DOI编码：10.3969/j.issn.1002-5944.2025.01.004

Thinking on the Development of Standards System for Instrumentation, Control and Electrical Systems of Nuclear Power Plants in China under the Development Trend of Artificial Intelligence

JIAO Li-ling

(China Institute of Nuclear Industry Strategy)

Abstract: Standards are the technical support of economic activities and social development, and are an important aspect of the national basic system. In the new development stage of artificial intelligence, it is necessary to further strengthen the effective supply of international and national standards for instrumentation, control and electrical systems of nuclear power plants in China, improve the management of voluntary national standards, and establish the national standards system for promoting high-quality development, leverage standards to facilitate the transformation of scientific and technological innovations, support domestic and international standardization efforts, and fully exert the foundational and leading roles of standardization in advancing the modernization of the national governance system and capacity. This article analyzes the current status of domestic and international standards for instrumentation and control in nuclear power plants, considers the domestic and international situations regarding artificial intelligence, and proposes suggestions for improving the national standard system. These suggestions aim to promote domestic and international standardization efforts and leverage standards to guide high-quality scientific and technological development.

Keywords: artificial intelligence, national standard, construction of standards system for instrumentation, control and electrical systems of nuclear power plants

0 引言

近年来，数字化技术的新技术不断突破、新业态持续涌现、新应用场景加快拓展，已成为新一轮

科技革命和产业变革的重要驱动力量。习近平总书记强调：“数字经济发展速度之快、辐射范围之广、影响程度之深前所未有，正在成为重组全球要素资源、重塑全球经济结构、改变全球竞争格局的关键

力量。”国务院总理李强在出席2024世界人工智能大会暨人工智能全球治理高级别会议时提出,要加强发展战略、治理规则、技术标准等对接协调,推动建立普遍参与的国际机制,形成具有广泛共识的治理框架和标准规范,确保人工智能发展安全、可靠、可控,始终符合人类的根本利益和价值标准。同时指出,人工智能发展迫切需要各国深入探讨、凝聚共识,共抓机遇、共克挑战。

标准是经济活动和社会发展的技术支撑,是国家基础性制度的重要方面^[1]。习近平总书记高度重视标准化工作,要求以高标准助力高技术创新,促进高水平开放,引领高质量发展。《国家标准化发展纲要》中也提出持续开展重点领域标准化比对分析,积极采用国际标准,提高我国标准与国际标准的一致性程度;要实施标准国际化跃升工程,推进中国标准与国际标准体系兼容。《“十四五”推动高质量发展的国家标准体系建设规划》还提出 to 增加国家标准有效供给,进一步加强强制性国家标准、推荐性国家标准的管理,着力构建推动高质量发展的国家标准体系,以标准促进科技创新成果转化,支撑国内大循环,国内国际双循环建设,充分发挥标准化在推进国家治理体系和治理能力现代化建设中的基础性、引领性作用。

1 国际国内核电厂仪控电标准现状

1.1 国际标准

国际电工委员会标准(IEC)是国际上影响最大、制定和发布标准数量最多的三大国际标准化机构之一。为了应对当今数字化、低碳化等诸多全球挑战,IEC于2021年制定新的战略规划目标(简称三大战略主题和九大目标)。战略的三大主题是建成数字化和全电气化社会,助力世界可持续发展,建立信任、包容的协作平台。IEC标准化管理局(SMB)还制定了一系列举措,包括推进、试点并验证机器可应用、可读、可转化的标准(SMART)概

念;IEC合格评定局(CAB)的实施方案中也增加了数字服务和方法。

国际电工委员会核设施仪表、控制与电气系统分技术委员会(IEC/TC 45/SC 45A)主要负责制定适用于核能发电设施中使用的电子和电气功能以及相关系统和设备的标准,以提高核能发电的效率和安全性。标准内容涵盖了核能发电设施仪表、控制和电力系统的整个生命周期,从概念到设计、制造、测试、安装、调试、运行、维护、老化管理、升级改造和退役。截至目前,IEC/TC 45/SC 45A共发布111项国际标准,在研项目24项。

IEC/TC 45/SC 45A标准体系分为4个层次:

第1层:通用要求标准,以IEC 61513和IEC 63046为代表,是IEC/TC 45/SC 45A标准系列的顶级文件,是对IEC 61508-1、IEC 61508-2和IEC 61508-4的核应用领域的通用要求进行了说明。IEC 61513规定了用于执行核电厂安全重要功能的I&C系统和设备的通用要求。IEC 63046规定了核电厂电力系统的通用要求,涵盖电源系统。

第2层:具体系统和设备通用要求,IEC 61513和IEC 63046直接参考其他IEC/TC 45/SC 45A标准对具体系统和设备的通用要求,如功能分类和系统分类、鉴定、隔离、共因故障、控制室设计、电磁兼容性、网络安全等。

第3层:具体系统和设备的特定要求,IEC 61513或IEC 63046没有直接引用与特定设备、技术方法或特定活动相关的IEC/TC 45/SC 45A标准。通常,这类标准可以单独使用。

第4层:技术报告(非标准类),IEC/TC 45/SC 45A系列标准的延伸和扩充。

IEC/TC 45/SC 45A标准体系涉及3个领域、12个子领域,如表1所示,子领域之间相关的关系如图1所示。

1.2 国内核电厂安全重要仪控电标准现状

我国核电工程建设起步阶段,工业基础薄弱,技术水平不高,在缺少核电技术、工程经验和试验

研究的情况下, 积极采用国际标准 (IEC/TC 45/SC 45A) 和国外适用标准, 依据核电厂安全重要仪控系统本身的特点以及国内核电工程所积累的经验以及对标准的需求, 在分析和研究国外标准体系的基础上, 建立了比较完善的核电厂安全重要仪控电气系统和设备标准体系。截至目前, 我国核电厂安全重要仪控电系统和设备标准涉及整个生命周期, 从概念到设计、制造、测试、安装、调试、运行、维护、老化管理、升级改造和退役。

表1 IEC TC45/SC45A标准体系涉及领域		
序号	领域	子领域
1	架构说明	I&C系统架构
2		电力系统架构
3	安全和其他方法	安全基本法则
4		设备鉴定和系统性能
5		人因工程 (HFE)
6		网络安全
7		老化管理
8	具体系统和设备	控制室和人机界面 (HMI)
9		传感器和测量技术
10		特殊工艺测量
11		辐射监测
12		核电厂I&C系统和电气设备

全国核仪器仪表标准化技术委员会反应堆仪表分技术委员会 (SAC/TC 30/SC 2) 主要是负责核电厂仪表、控制和电力系统专业领域的国家标准体系建设及国家标准的制修订及管理工作, 对口国际化组织为IEC/TC 45/SC 45A。该技术委员会一直致力于国家标准的体系建设工作。其建设策略是: 积极转化IEC/TC 45/SC 45A标准, 同步开展国际标准国家标准制定, 积极牵头修订国际标准, 适时将实施效果好且符合SAC/TC 30/SC 2的范围的先进行业标准/团体标准及时采信为国家标准。标准涉及基础、系统设计、设备制造、系统和设备安装、试验与维护、退役领域。标准体系框架如图2所示, 标准项目清单如表2所示。

2 核电人工智能国际形势及面临的挑战

2.1 人工智能国际形势

作为工业4.0时代的核心标签, 人工智能借助新一轮科技革命浪潮, 迅速席卷全球, 成为引领未来的新兴战略技术。当前各大国际标准化组织

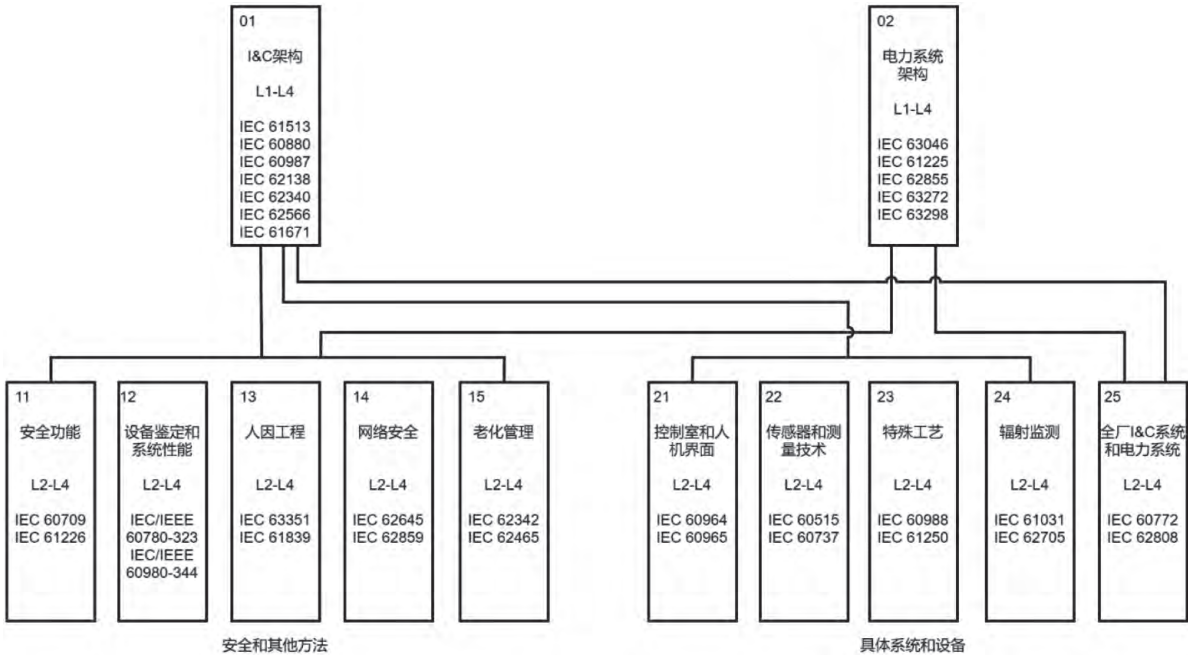


图1 IEC TC45/SC45A子领域之间的接口关系

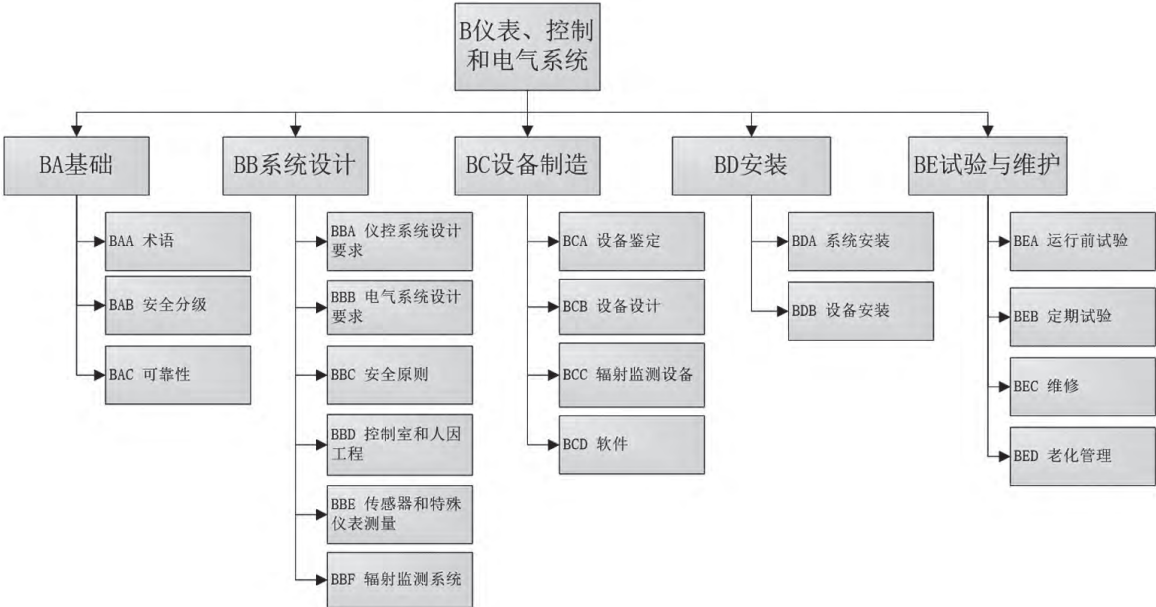


图2 核电厂安全重要仪控电标准体系框架结构图

表2 核电厂仪控电国际、国家标准项目表

序号	领域	标准号	标准名称	状态
1	术语	GB/T 41143—2021	核电厂仪表和控制术语	现行有效
2	安全基础	GB/T 15474—2010	核电厂安全重要仪表和控制功能分类	现行有效
3	安全基础	GB/T 7163—2021	核电厂安全系统的可靠性分析要求	现行有效
4	安全基础	GB/T 9225—2022	核电厂系统与其他核设施可靠性分析应用指南	现行有效
5	安全基础	GB/T 4083—2005	核反应堆保护系统安全准则	现行有效
6	老化管理	GB/T 29308—2012	核电厂安全重要仪表和控制系统老化管理要求	现行有效
7	网络安全	NB/T 20428—2017	核电厂仪表和控制系统计算机安全防范总体要求	现行有效
8	网络安全	GB/T 41241—2022	核电厂工业控制系统网络安全管理要求	现行有效
9	网络安全	IEC 62859:2016	核电厂仪表和控制系统协调安全与网络安全要求	待转化为国家标准
10	网络安全	GB/T 43532—2023	核电厂仪表和控制系统网络安全防范管控	现行有效
11	仪控系统	GB/T 40444—2021	核电厂安全重要仪表和控制系统总体要求	现行有效
12	仪控系统	GB/T 13284.1—2008	核电厂安全系统 第1部分：设计准则	正修订
13	仪控系统	IEC 62988:2018	核电厂仪表和控制系统中无线设备的选择和使用	待转化为国家标准
14	仪控系统	GB/T 13629—2008	核电厂安全系统中数字计算机的适用准则	现行有效
15	仪控系统	GB/T 5203—2011	核反应堆安全逻辑装置特性和检验方法	待修订
16	仪控系统	GB/T 13626—2021	单一故障准则应用于核电厂安全系统	现行有效
17	仪控系统	IEC 63186: 2021	核电厂安全重要仪表和控制系统地震停堆系统准则	待转化为国家标准
18	仪控系统	GB/T 13627—2021	核电厂事故监测仪表准则	现行有效
19	仪控系统	GB/T 41142—2021	核电厂安全重要数字仪表和控制系统硬件设计要求	现行有效
20	电气系统	IEC 63046:2020	核电厂电力系统一般要求	待制定
21	电气系统	GB/T 12788—2021	核电厂安全级电力系统准则	现行有效
22	电气系统		核电厂安全重要电力系统分析指南	正制定
23	电气系统	GB/T 13286—2021	核电厂安全级电气设备和电路独立性准则	现行有效

续表2

序号	领域	标准号	标准名称	状态
24	电气系统	GB/T 12790—2008	核电厂安全级电气设备和系统文件标识方法	现行有效
25	电气系统	GB/T 13538—2017	核电厂安全壳电气贯穿件	现行有效
26	电气系统	GB/T 13177—2008	核电厂优先电源	现行有效
27	电气系统	GB/T 14546—2008	核电厂直流电力系统设计推荐实施方法	正修订
28	辐射监测系统	IEC 62705:2014	核电厂安全重要辐射监测系统特性和生命周期	待制定
29	控制室和人因工程	GB/T 41145—2021	核电厂人因验证和确认	现行有效
30	控制室和人因工程	GB/T 13630—2015	核电厂主控制室设计准则	待修订
31	控制室和人因工程	GB/T 13631—2015	核电厂辅助控制点设计准则	正修订
32	控制室和人因工程	GB/T 13624—2008	核电厂安全参数显示系统的功能设计准则	现行有效
33	控制室和人因工程	IEC 62954:2019	核电厂控制室核应急设施的要求	待制定
34	控制室和人因工程	IEC 63260:2020	核电厂概率风险评估指南人因可靠性分析	待制定
35	控制室和人因工程	IEC 63435	核电厂控制室运行管理层数据处理与运行支持系统总体要求	待同步编制国家标准
36	设备设计	GB/T 36041—2018	压水堆核电厂安全重要变量监测准则	现行有效
37	设备设计	GB/T 7166—2022	核电厂堆芯和主冷却剂内温度计特性和测试方法	现行有效
38	设备设计	GB/T 11807—2021	探查松脱零件的声学监测系统的特性、设计和运行程序	现行有效
39	设备设计	GB/T 13632—1992	监督压水堆堆芯充分冷却的测量要求	待修订
40	设备设计	IEC/IEEE 63113:2021	核设施安全重要仪表乏燃料池仪表	待转化为国家标准
41	设备设计	GB/T 8995—2008	核反应堆中子注量率测量堆芯仪表	现行有效
42	设备设计	GB/T 7164—2022	用于核反应堆的辐射探测器特性及测试方法	现行有效
43	设备设计	GB/T 43347—2023	核电厂安全重要电气、仪表与控制设备环境参数的监测	现行有效
44	设备设计	GB/T 4860—1984	核反应堆仪器仪表一般特性	现行有效
45	设备设计	GB/T 10253—2012	液态排出流和地表水中放射性核素监测设备	现行有效
46	设备设计	GB/T 12726.1—2013	核电厂安全重要仪表 事故及事故后辐射监测 第1部分: 一般要求	现行有效
47	设备设计	GB/T 12726.2—2013	核电厂安全重要仪表 事故及事故后辐射监测 第2部分: 气态排出流及通风中放射性离线连续监测设备	现行有效
48	设备设计	GB/T 12726.3—2013	核电厂安全重要仪表 事故及事故后辐射监测 第3部分: 高量程区域γ连续监测设备	现行有效
49	设备设计	GB/T 12726.4—2013	核电厂安全重要仪表 事故及事故后辐射监测 第4部分: 工艺流管内或管旁放射性连续监测设备	现行有效
50	设备设计		核电厂固定式铅酸蓄电池监测系统选择与使用指南	正制定
51	设备鉴定	GB/T 25838—2010	核电厂安全级电阻温度探测器的质量鉴定	现行有效
52	设备鉴定	GB/T 12727—2023	核电厂安全级电气设备鉴定	现行有效
53	设备鉴定	GB/T 36044—2018	核电厂安全重要电气设备鉴定规程	现行有效

续表2

序号	领域	标准号	标准名称	状态
54	设备鉴定	GB/T 13625—2018	核电厂安全级电气设备抗震鉴定	现行有效
55	设备鉴定	GB/T 25837—2010	核电厂安全壳电气贯穿件的质量鉴定	现行有效
56	设备鉴定	GB/T 15473—2011	核电厂安全级静止式充电装置及逆变装置的质量鉴定	正修订
57	软件		核电厂安全重要仪表和控制系统执行A类功能HDL可编程集成电路开发	待制定
58	软件		核电厂安全重要仪表和控制系统执行B类, C类功能系统的HDL编程的集成电路开发	待制定
59	运行与维护	GB/T 5204—2021	核电厂安全系统定期试验与监测	现行有效

正全力构建核能人工智能标准体系,早在2021年,国际原子能机构(IAEA)召开了业界首个人工智能核技术与应用的跨学科论坛,提出了人工智能和核技术融合问题。2023年,IAEA又通过其下属的四个部门,包括核电工程、核电技术发展、安全评估和信息管理,牵头组建了六个全球化核电领域人工智能专家工作组。上述工作组的任务是形成核电运行创新网络(ISOP),建立核电人工智能全球人才库,支持IAEA的相关项目开展,并发布指导性文件,以推动核电领域人工智能的发展和应用。当前已确认的文件主题包括:核电厂人工智能机遇、人工智能生命周期管理、数据管理、人工智能监管要求以及其他行业应用参考。IEC/TC 45/SC 45A在2020年启动了IEC核领域人工智能体系研究工作,并于2023年5月11日发布了首个人工智能报告,即IEC TR 63468《核设施 仪表、控制与电气系统 人工智能应用》。该报告为核设施人工智能应用标准的制定指引了方向。IEC于2023年还成立了核电人工智能工作组(IEC/TC 45/SC 45A WG12),该工作组主要负责IEC体系下的核设施人工智能标准的制定。

当前世界各国和地区纷纷开始制定促进人工智能发展的国家战略。欧盟发布《2030数字化指南:欧洲数字十年》《升级2020新工业战略》《人工智能法案》等;美国相继成立了国家人工智能倡议办公室、国家AI研究资源工作组等机构,美国核监管委员会(NRC)2023年发布了2023—2027《人

工智能战略规划》;日本于2021年6月发布“AI战略2021”;英国于2021年9月发布国家级人工智能新十年战略^[2]。

2.2 人工智能对核电厂数字化仪控电系统体系构建带来的挑战

在过去的二十年,用于核电厂的仪控系统已经从使用以模拟型为主的硬接线组件发展成以数字型为主的多功能系统。这种向数字系统的发展增强了设计的灵活性,增加了系统性能数据的获取,但也提高了系统本身和整个核电厂对网络攻击的敏感度。目前人工智能技术还在快速发展,其标准体系建设和标准制定都尚在起步阶段,在标准建设工作中面临诸多问题和挑战。

2.2.1 应用呈点状分布,数据要素基础性作用不够

人工智能技术可深入应用于特殊环境下的虚拟测量、面向微弱信号海量数据的甄别处理、实现更高性能的核电厂自动控制、覆盖全生命周期的设备运维管理、支持预防性维修的模式形成、用于面向异常及事故发生的判定、核电厂运营决策支持、支持网络安全等有关问题识别与防护、助力人因安全水平的有效提升等,但数字化智能化在核电厂仪控系统的设计和建设阶段并没有统筹考虑并预留功能和实体接口。核电厂仪控系统研发设计、制造、工程、建安、运维等一系列环节各自相对独立,造成数据资源分散,缺乏数据资源有效利用的基础,数据资源服务业务和服务化延伸业务探索不足,数据价值未充分发挥国际认可度;同时数据管理责任

体系还不健全,数据资源汇聚不足,数据标准仍需加强。

2.2.2 关键的原理和基础性研究不足,关键技术存在“卡脖子”

对于自动控制、自动运行、设备故障应用基础研究有欠缺,传统检测数据或实验室技术成果与数字化智能化融合有欠缺,对数字化和智能化技术提供的无限可能性所引起的管理方式、生产方式、业务流程和数据共享等方法论研究有欠缺,使得数字化智能化应用场景和实现方式受到限制。数字化智能化与芯片、操作系统、数据库软件、基础算法等紧密相连,与各类工业软件紧密相连,与各类新型感知技术紧密相连。客观上而言,这部分技术仍面临诸多“卡脖子”的难点,需要行业中的企业下大力气取得突破。

2.2.3 工业基础偏弱,安全可靠性有待进一步加强

相较国外核电企业,国内企业在长期管理经验、生产过程自动化水平、自动诊断、设备可靠性技术、设备剩余寿命预测技术等研究偏弱。人工智能技术如何保证在核电厂数字化仪控系统安全可靠的应用,特别是网络安全、数据安全、人工智能可解释性、数据的数量和质量、人工智能技术的复杂性等一系列技术挑战将是核能领域推广应用以及制定国际标准面临的主要挑战。

2.2.4 国际认可度有待进一步提升

人工智能技术具有前沿性和交叉性的特点,制定国际标准需要依赖更多的各国家选派相关技术领域专家参与,推动人工智能标准更具有前瞻性和包容性;人工智能国际标准需要与各国核监管以及法规相匹配,各国在核能领域对人工智能监管治理的理念和框架存在较大差异,但目前各国都在争夺该领域的话语权,欧盟和美国等在各个国际标准组织中正在扩大影响力,争相将其本国人工智能输入人工智能标准中,中国要想主导在该领域的话语权需要付出更多的努力。

3 进一步完善现有的核电厂仪控电标准体系建议

目前,我国在人工智能领域的标准处于领先地位,而发达国家技术研发尚未完成,全球性技术标准尚在编制过程中,我国可以以此为契机,先于其他国家在新的技术标准付诸产业化,并在市场中进行运用和优化,主导制定核仪器仪表领域国际标准,以扩大中国标准国际影响力^[3]。

3.1 加强组织管理,提高我国标准国际认可度

一是应鼓励各界积极参与国际标准化工作,在IEC国际标准化组织中担任重要职位,在相关国际标准化会议和论坛中发表更多中国标准情况的文章,加快自主制定国家标准的外文版翻译工作,提高其他国家对我国标准的认可度,可增加IEC/TC 45/SC 45A WG 12注册专家,牵头或参与制定和讨论未来核能人工智能国际标准。二是建议在SAC/TC 30/SC 2中设置人工智能工作组,研究制修订一批人工智能国家标准;同时根据IEC/TC 45/SC 45A的工作组范围,扩大SAC/TC 30/SC 2工作范围,应扩大到负责核设施仪表、控制和电力系统等专业领域全生命周期的标准化工作。三是应推动国标委建立信息交流平台,实现信息互通和数据共享。推动实现核电链上下游数据贯通壁垒,实现设备、设计、建造文件资料的数字化移交。

3.2 重点领域突破,推动开展国际国内标准化工作

一是发挥中国专家担任IEC/TC 45/SC 45A WG 12工作组召集人的优势,进一步完善核仪器仪表领域的人工智能标准体系,将中国拟牵头制定的国际标准提案纳入工作组规划范畴,如《核设施 仪表、控制和电气系统 网络安全应用中的人工智能技术》《核设施 仪表、控制和电气系统人工智能应用的可解释性要求》《人工智能应用于核电厂仪表与控制系统的绩效评估》等。二是开展核电厂实时数据分析与预测、人因工程、网络安全、可解释性、系统稳定性可靠性、异常检测和响应、系统验证和确认、模拟机等方面国际

标准和国内标准制修订工作。三是建议各单位开展安全态势感知、综合安全防护系统、数据安全监测预警和应急处置机制研究工作,并同步开展数据安全检测、评估,防范数据安全风险、网络安全技术等标准化研究工作。

3.3 加速国际国内人工智能高端人才培养

党的十八大以来,以习近平同志为核心的党中央做出人才是实现民族振兴、赢得国际竞争主动的战略资源的重大判断,做出全方位培养、引进、使用人才的重大部署,推动新时代人才工作取得历史性成就、发生历史性变革。习近平总书记曾明确指出,发展是第一要务、创新是第一动力、人才是第一资源,确立人才引领发展的战略地位,发挥重大人才工程牵引作用,深化人才发展体制机制改革,激发各类人才创新活力。我们要围绕重点领域、关键环节、共性需求,深入挖掘人工智能在核仪器仪表领域的应用场景,开展技术攻关和试点示范标准化工作;利用国内人工智能自主化技术、信息化技术等社会优质资源,加速培养一批懂核仪器仪表专业知识,精通数字化智能化技术应用的领军、管理、开发和运维技术人才,形成具备一定规模且长期稳定的国际国内标准化高端人才团队。

4 结语

本文从当前的国际国内核电厂仪控电标准现状出发,针对核电人工智能国际形势及面临的挑战,提出完善核电厂仪控电标准体系建议,进一步加强推荐性国家标准的管理,构建高质量发展的国家标准体系,支撑国内国际标准化建设,充分发挥标准化在推进国家治理体系和治理能力现代化建设中的基础性、引领性作用。

参考文献

- [1] 中共中央,国务院.国家标准化发展纲要[Z].2021.
- [2] 中国信息通信研究院.人工智能白皮书: No. 202205[R].北京:中国信息通信研究院,2022.
- [3] 杨羽格,宋明顺,余晓,等.制约我国标准联通“一带一路”的因素研究[J].标准科学,2022(1):39-43.

作者简介

焦丽玲,本科,高级工程师,主要从事我国核电厂仪控系统及设备标准化科研和管理工作的。

(责任编辑:袁文静)