中国核安全监管体制现状与发展建议

吴宜灿^{1*}, 李静云², 李研², 李亚洲¹, 夏冬琴¹, 王芳¹, 周涛¹, 胡丽琴¹

1. 中国科学院核能安全技术研究所, 中子输运理论与辐射安全重点实验室, 合肥 230031;

2. 生态环境部核设施安全监管司, 北京 100035

* E-mail: yican.wu@fds.org.cn

收稿日期: 2019-12-13; 接受日期: 2020-02-25; 网络版发表日期: 2020-04-15

国家核安全局核与辐射安全监管项目(编号: JD201842, JD201929)和国家自然科学基金项目(编号: 71671179)资助

摘要 当前我国正从核能大国向核能强国迈进, 保障核安全是核能发展的首要条件, 而核安全监管是确保核能安全、健康、可持续发展的必要手段。本文梳理了世界核电强国——美国、法国、日本、俄罗斯的核安全监管体制, 对比分析了我国的核安全监管体制以及当前形势下存在的问题, 并试图在政策立法、监管体系、科研支持和公众沟通方面对我国核安全监管提出一些具体建议。

关键词 核能, 核安全, 监管体制, 公众沟通

1 引言

在应对气候变化与大气污染防治的双重挑战下, 减少化石能源使用、大力发展清洁能源成为世界各国优化能源结构、应对环境问题的重要举措。核能被公认为是能够大规模替代化石能源从而减少碳排放的清洁能源, 在保障能源安全、促进防污减排等方面可以发挥重要作用。

根据国际原子能机构(International Atomic Energy Agency, IAEA)统计, 截至2019年10月, 全球有31个国家/地区共计449台核电机组在运。根据世界核电协会(World Nuclear Association, WNA)数据, 目前核电在电力中所占份额约为11%, 是能源结构的重要组成部分。在全球具有核电的国家中, 美国、法国、日本、中国、俄罗斯和韩国核电净装机容量居世界前6位,

核电机组数量占全球总量的66.07%, 装机容量占全球总量的72.69%^[1]。

核安全是发展核能的前提和生命线, 人类历史上的三次重大核事故向各国敲响了警钟。随着核能的不断发展, 核安全监管日益成为国际社会广泛关注的焦点。各国普遍建立核安全监管机构代表国家对核设施和核活动进行有效的监管, 大力健全完善作为开展核活动标准和依据的核安全法律法规体系。我国是当前核电发展速度最快的国家, 正在从核能大国向核能强国迈进。因此, 分析借鉴核能发达国家在核安全监管实践中取得的成绩以及获得的教训, 对保障我国核能安全健康与可持续发展具有重要意义。

本文系统地选取核电净装机容量排名前列的美国、法国、日本和俄罗斯等核能大国作为比较对象, 研究其核安全监管体制的建立及演进过程, 同时分析

引用格式: 吴宜灿, 李静云, 李研, 等. 中国核安全监管体制现状与发展建议. 中国科学: 技术科学, 2020, 50: 1009–1018

Wu Y C, Li J Y, Li Y, et al. Investigation and proposals for China's nuclear safety regulations (in Chinese). Sci Sin Tech, 2020, 50: 1009–1018, doi: 10.1360/SST-2019-0426

我国核安全监管的现状和存在的问题, 并在此基础上分别从政策立法、监管体系、科研支持和公众沟通方面对我国核安全监管提出一定的具体建议。

2 核电发达国家核安全监管体制

2.1 美国核安全监管体制

美国是世界上核电发展最早、规模最大的国家。自1957年第一座核电厂投运至今, 美国核电机组数量已达近百座, 装机容量约98 GW, 它也是最早实行核安全独立监管的国家, 拥有较为完善的核安全监管体制。

美国核法律体系的核心是“原子能法案”(Atomic Energy Act)。1946年, 美国国会通过了“原子能法案”, 将对核的管制职能赋予原子能委员会(Atomic Energy Commission, AEC), 同时基于核不扩散原则的考虑, 原子能技术的应用被严格控制在军事领域。1954年, 美国国会对“原子能法案”进行修订, 将和平推广利用核能的职责也赋予了AEC, 同时允许民营资本进入核能与核技术利用领域, 从而极大促进了民营资本介入商用核电的发展。此外, AEC早期还采取一系列举措激励民营资本介入商用核电的发展。例如, 其在1955年发起了旨在推广核能应用的“示范反应堆计划”(Power Demonstration Reactor Program), 支持所属实验室开展相关技术的研发, 同时也对部分工业界的研究提供额外补贴, 此外免除七年的核材料使用款项, 通过上述手段激励民营资本进入核能和平利用领域^[2]。

根据1954年的“原子能法案”, AEC的职能包括核武器发展、核能和平利用推广以及核安全监管。由于AEC既作为“运动员”负责推广核能利用, 又作为“裁判员”负责监管核安全, 公众对其在行使监管职能时的公信力产生质疑。伴随着核能发展, 质疑之声日渐增强, 致使美国国会终于在1974年被迫将核能利用推广和核安全监管的职能进行分离, 单独成立美国核管会(Nuclear Regulatory Commission, NRC), 由其独立负责民用核材料使用、核电厂审批及其核安全监管, 确保公众健康和风险可控, 而将核能推广的职能分离出去。美国核安全监管演进过程如图1所示。NRC是美国政府独立规制机构之一, 具有高度独立性、专业性, 能够实施相对独立、客观、科学的规制政策^[3]。

NRC主要由总统提名并获得国会批准通过的五

名成员组成的委员会进行领导。成员任期不超过五年, 其中由总统任命一名主席并作为NRC官方发言人^[4,5]。NRC是独立的核安全监管机构, 监管内容涵盖: (1) 核反应堆, 包括商业发电反应堆、部分研究堆、实验堆、新设计的反应堆; (2) 核材料, 包括医学、工业和科研设施使用和产生的核材料; (3) 核废料, 包括运输、储存、处理处置和核设施退役; (4) 核安保, 包括核设施与核材料免受袭击或破坏^[6]。

NRC高度的独立性和在核安全监管领域具有的强技术能力, 使其可以进行独立的核安全研究以及反应堆事故分析与评价。在NRC下属的11个办公室中, 核监管研究办公室主要负责核安全监管研究、标准制定、核安全问题解决建议, 如图2所示^[7]。2009年该办公室大约有260名员工, 约7000万美金的经费支持^[8]。值得一提的是, 由于政府鼓励民营资本参与商用核电项目, 因此, 核安全相关的科研经费也有相当比重来源于企业而非政府组织。与中国不同的是, 美国的强制性技术标准要求都在法律法规中制定, 美国政府没有单独的标准审批机构, 所以含有强制性技术标准要求的法律法规, 在美国称为“技术法规”。

美国政府很早就意识到公众的态度对核电发展的重要性, 对核电公众沟通工作相当重视, 并且注重核电公众沟通方法, 包括: (1) 通过权威、可信的量化研究指导公众沟通工作, 如问卷调查及定量分析; (2) 建立常用术语文件指导核能行业人员进行更有效地公众沟通, 避免使用专业术语; (3) 通过多种方式如各类社交媒体等^[9]将核电厂信息向公众公开。

2.2 法国核安全监管体制

法国核能发电量占全国总电量的71.67%, 是全球对核电依赖程度最高的国家。历经60余年的发展, 法国逐步建立起一套独立、完整的核工业体系, 不仅实现能源自给自足, 而且还向比利时、德国、意大利、西班牙等周边国家输送电力。

与美国不同, 法国未制定专门的原子能法, 其核安全监管举措散见于不同的法律法规中, 但其从立法上确保了核安全监管机构的独立性, 建立了核安全信息的公开透明和公众参与机制。

1963年以前, 法国的核安全监管由原子能委员会(Atomic Energy Commission, CEA)负责, 1963年授权工业部负责核设施审批, 1973年在工业部成立专门负

图 1 (网络版彩图)美国核安全监管演进过程

Figure 1 (Color online) Evolution of nuclear safety regulation in the United States.

图 2 美国核管会NRC组织架构

Figure 2 Organizational structure of NRC.

责核安全监管的核设施中央安全局(Center Service for Nuclear Installations Safety, SCSIN), 1991年改为由工业部 and 环境部下属的核设施安全局(Directorate for Nuclear Installations Safety, DSIN)负责核安全监管. 2006年法国“核透明与核安全法”(Act of transparency and security in nuclear filed)确定核安全监管的基本框架主要由国会、政府和法国核安全局 (Nuclear Safety Authority, ASN)构成, 至此法国的核安全监管独立, 与核能的推广完全分离. 国会的主要职能是核能及核安全立法; 政府的主要职能是从宏观层面进行监管, 比如核应急准备工作、以及核安全与辐射防护相关的一般性技术规章制度、与ASN协商起草核安保方面的法令和规则等; ASN在“核透明与核安全法”中被赋予独

立监管的法律地位, 它独立于政府行政机构, 直接对国会负责, 其职责包括法律法规拟定、许可证发放、核安全与辐射防护监管、核应急管理和公众信息通报等.

ASN由总统和国会独立任命的五人委员会进行领导, 其中三名成员由总统任命, 另外两名成员由国会任命, 任期均为六年且不能连任. ASN采用分区域方法对核安全工作实施监管, 每个核电厂都派有监督员. 为了保障有效独立运行, ASN在财政、人力资源等方面均有充分保障^[6].

作为ASN的技术支持单位, 辐射防护与核安全研究院(Institute for Radiation Protection and Nuclear Safety, IRSN)由政府资助, 专门从事核安全与辐射防

护的研究工作. IRSN主要负责在核安全、辐射防护和保障技术方面协助ASN^[10], 2012年IRSN大约有1800名员工, 年预算总额为2.12亿欧元^[11].

信息透明、公众知情是法国核能行业成功的关键. “核透明与核安全法”规定了涉核信息的公开透明制度和公众知情权. 同时, 法国规定每个核电厂都要成立“地方核信息委员会”, 由来自地方议员、环保组织、技术专家和各界代表组成, 对核设施营运单位提出质疑、组织辩论、开展独立研究评估以及环境监测等. 法国的“地方核信息委员会”, 不仅是科普教育基地, 也是涉核信息交流平台, 是法国核电获得公众的信任和支撑的重要原因之一^[12].

2.3 日本核安全监管体制

由于自然资源匮乏, 核能在日本的能源结构中占有举足轻重的地位. 福岛核事故前, 日本制定的“能源战略计划”提出核电占比将从2010年的26%提高到2030年的45%, 然而上述战略计划却随着福岛核事故的发生戛然而止.

1955年, 日本颁布了“原子能基本法”, 确立了以和平利用为目的的核能研究、发展和利用的基本政策. 日本原子能委员会(Japan Atomic Energy Committee, JAEC)于1956年成立, 负责核能研究、开发和利用政策的制定, 以及核能安全法规制度等相关事宜. 1957

年, 日本颁布了“核原料、核燃料及反应堆监管法”, 规定了从事核能相关活动的许可证管理制度.

2011年, 福岛核事故对日本核能发展以及核安全监管产生了重大影响, 成为核安全监管的转折点. 福岛核事故前日本核安全监管体制如图3所示, 核安全监管主要由经济产业省(Ministry of Economy, Trade and Industry, METI)下属的原子能安全保安院(Nuclear and Industrial Safety Agency, NISA)负责, 但是NISA同时也负责核能的应用推广. NISA下属的日本原子能安全组织(Japan Nuclear Energy Safety Organization, JNES)作为其技术支持单位, 为NISA提供核设施的安全分析和评估. 内阁府管辖的原子能安全委员会(Nuclear Safety Commission, NSC)负责对NISA的安全监管活动进行监督与检查^[13,14].

福岛核事故发生后, 日本政府决意对核安全监管体制进行改革, 于2012年9月在环境部下设置成立新的核安全监管机构——原子能规制委员会(Nuclear Regulation Authority, NRA), 将原来分散在经济产业省、文部科学省等部门的核安全相关工作集中管理^[15], 如图4所示. NRA虽隶属于环境省, 但是属于相对独立的监管机构, 其决策和执行不受环境部约束, 政府为其设置专门的预算项目, 经济上也是独立的^[16]. NRA由国会同意、首相任命的五人委员会领导, 其职员离职后五年内不得从事核能推广相关的工作^[17]. 日

图3 福岛事故前日本核安全监管体系
Figure 3 Regulation of nuclear safety in Japan before Fukushima Daiichi accident.

图 4 福岛事故后日本核安全监管体系

Figure 4 Regulation of nuclear safety in Japan after Fukushima Daiichi accident.

本原子能安全组织JNES作为NRA技术支持单位,负责与核能相关的安保、安全监管研究和监测工作。而日本原子能研究发展机构(Japan Atomic Energy Agency, JAEA)和国立放射线医学综合研究所(National Institute of Radiological Science, NIRS)是两家综合研究开发机构, JAEA主要偏向核科学和技术的研发,而NIRS偏向研究放射线与人类健康。这样新的核安全监管机构就同涉及核能推广应用的原子能委员会、经济产业省和文部科学省相互独立,从而将核安全监管与核能应用推广分离。

2.4 俄罗斯核安全监管体制

俄罗斯的核电装机容量虽位于美国、法国和日本之后,但仍是核电出口数量最多的国家,且遥遥领先其他国家。

俄罗斯核能利用的基本法是1995年通过的“俄罗斯联邦原子能利用法”,阐述了核能利用目的和原则,明确了政府机构监管职责。2004年,俄罗斯建立联邦环境、技术与核能监督局(Rostekhnadzor,简称技监局),由总部、地区核与辐射安全监督管理部门、技术支持单位及培训中心组成,隶属于俄罗斯联邦政府,受联邦政府委托执行国家政策和发展规划,制定核与辐射安全监管领域的法律法规(民用核能方面),并对核能利用实施全面的核安全监管。具体来说,技监局负责颁发核设施营运许可证及监督相关核活动,包括核设施的选址、建造、运行和退役,乏燃料及核废料的处理,放射性废物管理,设计与实施核能利用的相关政策以及起草并批准核安全法规及标准^[18]。除技监局外,联邦民防、紧急事件和救灾部、联邦卫生与社会

发展部、联邦自然资源和环境部、俄罗斯国家原子能公司等部门也在各自领域对核能利用具有特定监管职能。

俄罗斯科学院核安全研究所(Nuclear Safety Institute of the Russia Academy of Sciences, IBRAE)于1988年成立,是俄罗斯最大的核设施安全领域基础和应用研究中心之一,旨在推进核与辐射安全的基础研究和独立分析。IBRAE不仅为确保核安全和辐射安全的联邦目标计划提供行政、科学和技术支持,还为联邦政府提供核工业法律监管方面的专家支持,并参与监管相关的联邦法律文件制定,确保辐射安全、环境保护和公众卫生管理政策实施^[19]。

纵观以上各核电大国的核安全监管体制,可以从以下四方面为我国核安全监管提供借鉴。

(1) 在政策立法上,强调政策立法先行。美国、法国、日本、俄罗斯都用法律来规范核能利用及管理活动,充分发挥立法的引领和推动作用。世界各国的核法律体系,有以“原子能法”的形式出现,有以“核安全法”的形式出现,也有二法并行的形式^[20]。

(2) 在体系设计上,强调监管工作的独立性。美国、法国、日本、俄罗斯都设有专门的核安全监管机构,而且保持独立性。从发展演进过程中可以看出,美国经历了从AEC到NRC的分拆过程,法国经历了从CEA到完全独立的ASN,日本在福岛核事故后重新设置NRA以保持对于其他部门独立性等。

(3) 在科研支持上,确保科研支持投入力度。作为核安全监管工作的重要技术支撑,美国、法国、日本、俄罗斯均重视核安全监管科学研究,由统一部门负责协调规划核安全监管科研工作,提供稳定充足的经费支持。同时鼓励民营资本在商用核电上的投入,为此民营资本也是核安全监管科研的重要经费来源。

(4) 在公众沟通上,将信息公开透明置于重要地位。各国均较早意识到公众态度决定核能发展的兴衰,公众沟通工作对核能发展尤其重要,为此设立多种渠道充分保障公众核安全信息知情权、核安全决策参与权和核损害索赔权等。

3 中国核安全监管体制

3.1 中国核安全监管现状

我国是当前世界上核能发展最快的国家。截至

2020年2月,我国大陆地区有48台机组在运和10台机组在建,核电在我国电力结构中所占比重约为4%。根据国家能源“十三五”规划,至2020年我国核电在运规模将达到58 GW,在建规模将达到30 GW^[21],届时我国将成为仅次于美国的核电第二大国。

中国的核工业起步于1955年,从最初的“以军为主”到改革开放初期的“保军转民”,再到目前的“军民融合”,经历了持久的发展过程^[6,22,23]。目前,2018年实施的“核安全法”明确民用核能主要由三家机构管理:(1)核安全监督管理部门为生态环境部(国家核安全局),主要负责核设施的安全监督管理等;(2)核工业主管部门为国家国防科技工业局,主要负责核电之外的核燃料循环、军工核设施的管理和国家核事故应急等;(3)能源主管部门为国家能源局,主要负责能源发展规划和推广应用等。

我国核安全监督管理部门——国家核安全局成立于1984年,经历了三个重要发展阶段:(1)起步探索阶段(1984年~1998年),在国家科学技术委员会管理下相继设置上海、广东、成都和北方核安全监督站以及审评技术支持单位;(2)整合提高阶段(1998年~2008年),国家核安全局整体并入国家环境保护总局,设置六个地方监督站(华北、华东、华南、西南、西北、东北等),逐渐形成了覆盖全国的核安全监管总体格局,同时技术支持力量不断增强;(3)快速发展阶段(2008年~今),环境保护总局升格为环境保护部,再由环境保护部改革为生态环境部,在此过程中,核安全监管业务部门从一个司调整为三个司,职责分工明确,监管能力提

升,参见表1。

3.2 中国核安全监管面临的挑战

我国核安全监管工作从实践中来,经历了先拥有核设施,后建立核安全监管机构,再出台核安全法规 and 标准的探索过程。尽管我国核设施从未发生国际核与辐射事件分级表(International Nuclear and Radiological Event Scale, INES)中2级及以上的运行事件,但作为目前核能发展最快的国家,我国核安全监管形势依然面临挑战。

(1)法规修订相对滞后,反应堆堆型多样带来标准不尽统一

法规标准的建立滞后于核能发展。国家核安全局成立以来,参照国际原子能机构IAEA安全标准系列建立了一套既接轨国际又符合国情的中国核与辐射安全法规标准体系,具有明显后发优势。我国核安全法规中,20世纪90年代制定的共16部,占55%,福岛前发布的共26部,占90%,2000年至2009年期间制定或修订7部,2010年至今制定或修订6部。而与此同时,从2014年至2019年五年间,IAEA共修订了安全标准32部,其中7部一般安全要求中的6部完成了升版,占比86%。7部特殊安全要求中的6部完成了升版,占比86%。一般安全导则中有1部完成了升版,占比4%;95部特殊安全导则中有19部完成了升版,占比20%。

与此同时,在“引进→消化→吸收→再创新”基本思路指引下,我国核电技术已探索出一条自主创新之路。技术引进对于我国核电技术发展具有重要作用,

表 1 国家核安全局内设业务部门及机构职责

Table 1 Divisions and their responsibilities of National Nuclear Safety Administration

业务部门	机构职能
核设施安全监管司	承担核与辐射安全法律法规草案的起草,拟订有关政策、规划、标准,承担国家安全有关工作,负责核安全工作协调机制、涉核项目环境社会风险防范化解有关日常工作,组织辐射环境监测和对地方生态环境部门辐射环境管理的督查,承担核与辐射事故应急准备和响应,参与核与辐射恐怖事件的防范和处置,负责核与辐射安全从业人员资质管理和相关培训,负责核材料管制和民用核安全设备设计、制造、安装及无损检验活动的行政许可和监督检查,组织协调全国核与辐射安全监管业务考核,归口联系核与辐射安全中心、地区核与辐射安全监管机构的内部建设和相关业务工作,负责三个核与辐射安全监管司有关工作的综合协调。
核电安全监管司	负责核电厂、核热电厂、核供热供汽装置、研究型反应堆、临界装置、带功率运行的次临界装置等核设施的核安全、辐射安全、环境保护的行政许可和监督检查,以及相关建造事件、运行事件的独立调查、技术评价和经验反馈等。承担相关国际公约国内履约工作。
辐射源安全监管司	负责核燃料循环设施、放射性废物处理、贮存和处置设施、核设施退役项目、核技术利用项目、放射性物质运输的核安全、辐射安全和环境保护的行政许可和监督检查,负责电磁辐射装置和设施、铀(钍)矿、放射性污染治理的环境保护的行政许可和监督检查,负责伴生放射性矿辐射环境保护的行政许可和监督检查,负责组织相关核设施、辐射源和放射性物品运输事件与事故的调查处理,承担相关国际公约国内履约工作。

也带来了一系列问题. 我国核电技术引进大体经历三轮^[24]: ① 20世纪80年代, 确立了以“引进+国产化”为主的路线, 一方面在广东大亚湾引进法国的核电技术, 另一方面在浙江海盐自行设计和建造秦山核电厂; ② 20世纪90年代, 以增加装机容量为目的引进, 导致了核电多种堆型、多种技术、多国引进状况的出现, 中国自主研发并逐渐成熟起来的第二代核反应堆技术却未获广泛推广; ③ 2000年初, 基本确定全盘引进美国的第三代核电技术, 意图通过“一步跨越”来实现反应堆堆型的统一, 但由于种种原因上述目标尚未实现. 从第二代核电技术到引进第三代核电技术(AP1000、EPR、VVER等), 并逐步形成自主设计能力(华龙一号、CAP1400等), 再到第四代核电技术以及未来清洁能源聚变能技术, 目前各种技术发展成熟度不同. 由于其系统、堆型、技术路线及工艺各不相同, 造成技术标准以及运行和管理模式也多种多样, 美国ASME、法国RCC等标准系列并存, 给核安全监管工作带来了巨大挑战. 我国核安全相关标准中, 国家标准GB所占比例仅为23.1%, 且主要集中在辐射环境领域, 核电厂、核设备和放射性废物管理等领域GB较为缺失, 大部分标准都以国家推荐标准、环境标准和行业标准存在. 国家标准、核工业行业标准和能源行业标准三套体系并存, 层次关系和覆盖面又都不够清晰. 为此, 建立独立的中国核电标准体系刻不容缓.

(2) 人才吸引力不足, 核安全监管的权威性受限

受日本福岛核事故影响, 核安全监管的独立性问题成为重点关注内容. 在我国, 长期以来政府、营运单位和设计院构成了核能产业“铁三角”^[25]. 一方面, 核安全监管部门与行业待遇倒挂, 造成监管部门对人才吸引力不足, 核安全监管部门和工业界之间存在逆向人员流动带来“旋转门”现象, 可能对核安全监管过程的独立性产生影响; 另一方面, 监管部门自主培养核安全监督员周期长、专业性高, 年轻监管人员在核能领域从业经验不足容易导致实际技术能力不足, 造成监管权威性不高.

(3) 科研体系缺乏顶层设计, 经费投入不足且研究存在低水平耗散现象

由于技术复杂性、事故突发性、处理艰难性、危害严重性、影响深远性以及高度社会敏感性等特征, 核安全还存在进一步探索和深入研究的空间. 科学的核安全监管需要监管科学(Regulatory Science)的支持.

然而, 我国核安全科研工作缺少长期规划和顶层设计, 研究工作散布于全国多家单位, 并未形成统一规划与合力, 反而存在低水平耗散现象. 同时, 由于我国核能发展过程中的长期垄断, 行业缺乏开放竞争, 导致当前民营资本对于科研投入有限, 其积极性未得到充分发挥. 我国积极发展核电政策与核安全监管科研投入不足之间存在显著矛盾.

(4) 风险认知机理性研究不足, 邻避效应严重影响可持续发展

作为一种公众物品, 核设施的收益由全社会共享而风险却由其周边的居民承担(因为核能利用过程中存在辐射危险), 为此存在显著的“邻避效应”^[26]. 国际能源署(International Energy Agency, IEA)、国际原子能机构IAEA已将风险认知和公众接受列为核能可持续发展面临的瓶颈性问题之一^[27]. 近年来, 我国不少核设施项目因为公众对于核设施风险无法接受而形成坚决的反对态度, 最终导致项目搁浅, 比如2011年江西彭泽反核事件、2013年广东江门反核事件、2016年江苏连云港千人反核事件以及2018年长沙核工业所易地重建事件等. 上述事件可以看出, 社会对核电的认知尚显不足. 有调查研究显示, 67%的公众没有接触过与核能相关的人或事^[28], 在一定程度上表明, 我国核能的公众沟通工作相对滞后, 与核电发展速度不相匹配. 另一方面, 公众在核安全监管活动中始终处于被动、盲动角色, 未能科学发挥监督作用.

4 对我国核安全监管的启示

各核能大国都依据各自国情, 选择了与各自国家发展道路相适应的核安全监管体制. 核安全关系国计民生, 涉及国家长远发展和人民群众切身利益, 是核能事业发展的生命线. 而核安全监管是确保核安全的重要环节和有效手段. 通过上述调研和分析, 笔者对于我国核安全监管提出以下建议.

(1) 出台顶层设计, 完善我国核安全法律法规体系

打通国家核安全监管与IAEA的直接信息渠道, 建立对机构管理发展、标准更新的跟踪、编译的长效机制, 深度参与IAEA安全标准制修订工作, 提升我国核安全领域国际话语权. 在充分体现我国核与辐射安全监管实践经验的基础上, 汲取国际先进经验, 始终保持我国核与辐射安全法规体系与IAEA先进的

标准体系接轨, 加强对时效性不足的现行法规进行系统修订, 加强整标建库, 形成结构清晰、层次合理、覆盖全面的自主标准体系。

(2) 强化核安全监管技术支持单位的独立性, 发挥“第三方”作用

《核安全法》第二十三条规定: 国务院核安全监督管理部门组织安全技术审查时, 应当委托与许可申请单位没有利益关系的技术支持单位进行技术审评。受委托的技术支持单位应当对其技术评价结论的真实性、准确性负责。独立的核安全审评是确保核安全监管有效性的的重要手段。建议进一步提高核安全监管技术支持单位与核能企业之间的独立性, 注重审评能力建设与技术人才培养, 强化“第三方”在核安全监管过程中的监督作用, 选择“背靠核能, 面向公众”的具备较高公信力、技术支持能力的单位作为“第三方”, 担负起工业界和公众之间的认知沟通桥梁, 建立对核安全监管工作的监督机制。

(3) 加强核安全监管科研顶层设计和科研投入

核安全监管科研顶层设计是保障核安全监管工作顺利开展的基础。建议设立核安全监管国家重点研发

计划, 集中解决核安全监管领域科技研发需求, 设置支持遴选项目库, 提前部署和分步实施, 优化专项经费分配方式, 解决独立校核计算能力等核安全监管中基础性、制约性、独立性、应用性问题。在保证公立科研机构引领的前提下, 吸引企业和市场对于核安全问题的关注, 开放/允许民营资本介入相关研究, 引入市场竞争机制进一步提高资源配置效率和激发行业活力。持续开发先进、可靠的核安全技术, 充分利用先进的科学技术成果, 提高核安全水平。

(4) 加强风险认知机理性研究, 建立健全公众沟通机制破解邻避效应

由于受到技术发展、社会心理以及文化背景等多方面因素的影响^[29,30], 加上相关实证研究较为匮乏, 核能风险认知和公众接受机制尚不清晰。在此背景下, 开展风险认知和公众接受机制研究具有显著意义, 可以瞄准国家核能发展的重大需求, 服务于核能产业的可持续发展, 也可探索新兴技术的心理认知机制和理论框架。建议基于我国特定文化背景和政策导向, 开展风险认知研究, 逐步建立熟谙心理学、媒体传播、公共关系、核科学技术等知识和经验的综合性团队。

致谢 感谢国家核安全局核与辐射安全监管项目、国家自然科学基金等项目对本工作的资助, 同时也感谢中国科学院核能安全技术研究所•凤麟团队其他成员的大力支持。

参考文献

- 1 CNEA. The report on the development of China's nuclear energy (in Chinese). 2018 [中国核能行业协会. 中国核能发展报告. 2018]
- 2 J.Samuel W, Thomas R W. A Short History of Nuclear Regulation 1946-2009. 2010
- 3 Song H L. Independent regulatory agency in American administrative law (in Chinese). Tsinghua Law Review, 2010, 4: 53-62 [宋华琳. 美国行政法上的独立规制机构. 清华法学, 2010, 4: 53-62]
- 4 Luo C. Legal system and policy of nuclear regulation in the United States and its implications for China (in Chinese). J Southeast Univ (Philos Soc Sci), 2012, 14: 85-88 [罗超. 美国核能监管法律制度与政策及其对中国的启示. 东南大学学报(哲学社会科学版), 2012, 14: 85-88]
- 5 Wang Y Q, Li S X, Zhuang S X, et al. The introduction of reactor oversight process of United States Nuclear Regulatory Commission (in Chinese). Nuclear Safety, 2018, 17: 16-22 [王娅琦, 李世欣, 庄少欣, 等. 浅谈美国核管会反应堆监督管理体系. 核安全, 2018, 17: 16-22]
- 6 NRDC. Proposals for the reform of China's nuclear safety regulatory system (in Chinese). 2013 [自然资源保护协会. 中国核安全监管体制改革建议, 2013]
- 7 Office of Nuclear Regulatory Research. www.nrc.gov/about-nrc/organization/resfuncdesc
- 8 U.S. NRC. Office of Nuclear Regulatory Research. NUREG/BR-0466. 2010
- 9 Zuo Y, Wang Y. Research on public communication practice of Vogtle nuclear power plant in United States and its enlightenment (in Chinese). World Environ, 2017, 6: 83-85 [左跃, 汪洋. 美国Vogtle核电站公众沟通时间研究及启示. 世界环境, 2017, 6: 83-85]
- 10 Wang H D, Wu H S, Wang Z. Overview and implication of nuclear safety regulation and legislative system of major foreign nuclear countries (in

- Chinese). *China Nucl Ind*, 2016, 10: 28–31 [王海丹, 伍浩松, 王政. 国外主要有核国家核安全监管和法规体系概况及启示. *中国核工业*, 2016, 10: 28–31]
- 11 Institute for Radiation Protection and Nuclear Safety. www.french-nuclear-safety.fr/ASN/Technical-support/The-IRSN
 - 12 Xie Q X, Hua M. Nuclear safety and the nuclear information publicity—Perspective from the TSN Act of France (in Chinese). *J North China Electr Pow Univ (Soc Sci)*, 2014, 87: 58–62 [谢青霞, 花明. 信息公开与核安全—以法国《核透明安全法》(TSN)为视角. *华北电力大学学报 (社会科学版)*, 2014, 87: 58–62]
 - 13 NISA. Report of Japanese government to the IAEA ministerial conference on nuclear safety: The accident at TEPCO's Fukushima power stations. 2011
 - 14 Meng D, An H Z. Japan's new policy on nuclear safety regulation (in Chinese). *China Nucl Ind*, 2013, 8: 36–39 [孟德, 安洪振. 日本核安全监管新政透. *中国核工业*, 2013, 8: 36–39]
 - 15 IAEA. Fukushima Daiichi Status Report. 2012
 - 16 Liu H J. The independence of nuclear safety regulation from the perspective of law (in Chinese). *Theor Reform*, 2015, 1: 62–65 [刘画洁. 法律视野下核安全监管机构独立性探析. *理论与改革*, 2015, 1: 62–65]
 - 17 OECD/NEA. Act for Establishment of the Nuclear Regulation Authority Act No.47 of June 27. 2012
 - 18 Xiong W B, Zhu J, Wang S W, et al. Framework of Russia's nuclear safety regulation and some enlightenments (in Chinese). *Radiat Prot Bull*, 2012, 32: 23–28 [熊文彬, 朱杰, 王韶伟, 等. 俄罗斯核电安全监管体系及启示. *辐射防护通讯*, 2012, 32: 23–28]
 - 19 Nuclear Safety Institute of the Russian Academy of Sciences. <http://en.ibrea.ac.ru/contents/7/>
 - 20 Hu L G, Feng J P. Legislative thought and its realization of the Nuclear Safety Law (in Chinese). *Environ Prot*, 2018, 46: 18–21 [扈黎光, 冯建平. 《核安全法》立法思路及其实现. *环境保护*, 2018, 46: 18–21]
 - 21 NEA. Nuclear Power Safety Plan (2011-2020), 2012
 - 22 Mu R M, Jian Z, Yuan X L. China's approach to nuclear safety—From the perspective of policy and institutional system. *Energy*, 2015, 76: 161–172
 - 23 Zeng M, Wang S, Duan J, et al. Review of nuclear power development in China: Environment analysis, historical stages, development status, problems and countermeasures. *Renew Sustain Energy Rev*, 2016, 59: 1369–1383
 - 24 Lu F. The exiled “Chinese creation”—to solve nuclear energy puzzle in China (in Chinese). *Business Week*, 2009, 2: 29–53 [路风. 被放逐的“中国创造”—破解中国核电迷局. *商务周刊*, 2009, 2: 29–53]
 - 25 Wu Y C. Review and discussion on nuclear safety research of innovative nuclear energy system (in Chinese). *Bull Chin Acad Sci*, 2016, 31: 567–573 [吴宜灿. 革新型核能系统安全研究的回顾与探讨. *中国科学院院刊*, 2016, 31: 567–573]
 - 26 Zhang T T, Xia D Q, Li T S, et al. Exploring the relationship between public perception and acceptance of nuclear energy (in Chinese). *Nucl Safety*, 2019, 18: 63–70 [张婷婷, 夏冬琴, 李桃生, 等. 公众认知对核电接受度的影响. *核安全*, 2019, 18: 63–70]
 - 27 OECD/NEA. Technology Roadmaps: Nuclear Energy. 2015
 - 28 Wu Y. Public acceptance of constructing coastal/inland nuclear power plants in post-Fukushima China. *Energy Policy*, 2017, 101: 484–491
 - 29 Xia D, Li Y, He Y, et al. Exploring the role of cultural individualism and collectivism on public acceptance of nuclear energy. *Energy Policy*, 2019, 132: 208–215
 - 30 He Y L, Li Y Z, Xia D Q, et al. Moderating effect of regulatory focus on public acceptance of nuclear energy. *Nucl Eng Technol*, 2019, 51: 2034–2041

Investigation and proposals for China's nuclear safety regulations

WU YiCan¹, LI JingYun², LI Yan², LI YaZhou¹, XIA DongQin¹, WANG Fang¹, ZHOU Tao¹ & HU LiQin¹

¹ Key Laboratory of Neutronics and Radiation Safety, Institute of Nuclear Energy Safety Technology, Chinese Academy of Sciences, Hefei 230031, China;

² Department of Nuclear Facility Safety Regulation, Ministry of Ecology and Environment, Beijing 100035, China

China is the most ambitious country in developing nuclear energy which has become an important composition of its energy supply. Nuclear safety is imperative for sustainable development of nuclear energy; therefore, nuclear safety regulation is of paramount importance. This paper investigated the nuclear safety regulations in the United States, France, Japan, and Russia, who are at the forefront with respect to the installed capacity of nuclear energy. A comparison of regulations between China and these four countries was also carried out and some potential problems existing in China were analyzed. Based on the investigation and comparison, some suggestions for China's nuclear safety regulations regarding the policy legislation, framework of regulation, scientific research, and public communication were proposed.

nuclear energy, nuclear safety, framework of regulation, public communication

doi: [10.1360/SST-2019-0426](https://doi.org/10.1360/SST-2019-0426)