

在“核安全观”指导下发展核电

中国工程院“我国核能发展再研究”项目组

一、必须将“安全稳步规模发展核电”作为我国能源发展的基本战略之一

我国经济社会发展仍处在对能源需求持续增长阶段，同时还面临着国内资源环境制约日趋强化和应对气候变化减少CO₂排放的双重挑战。发展核电将对我国突破资源环境的瓶颈制约，保障能源安全，减少CO₂排放，实现绿色低碳发展具有不可替代的作用。核电必须作为我国未来可持续发展体系中的重要支柱来发展。因为只有核电、可再生能源及天然气等低碳清洁能源共同努力，相互补充、相互促进，才能实现高比例替代煤炭，支撑起中国电力未来增长的需要，并保障我国能源供应安全。核电、可再生能源和天然气三者不是相互排斥的关系，实际上，我国核电发展要替代的对象是煤电，发展核电即相当于少发展煤电，如果不发展核电就必须多用煤炭，而由此所带来环境污染和资源制约的严重性已经无法回避。

核电建设投资较大、研发建造周期较长，核电中长期发展中很多关键问题需要解决，如核安全水平的提高、核燃料资源的保障、厂址资源和布局、自主能力建设、放射性废物处置、核电技术的基础研究等。这些问题只有在核电规模发展的基础上进行讨论才有针对性和现实意义。因此，必须将“安全稳步规模发展核电”作为我国能源发展的战略选择，否则难以实现核电的有序稳定发展。

我国核电发展的方针可归纳为：**战略必争、确保安全、稳步高效。**

战略必争是指在全球低碳发展趋势下，掌握先进核能技术将成为一个国家核心竞争力的标志，核能应成为我国战略必争的高科技领域，要形成自主创新的核工业品牌，力争在世界范围内取得战略竞争优势。

确保安全是指坚持安全第一的根本方针，确保消除对公众健康和环境产生严重影响的放射性物质外泄事故。

稳步高效是指科学规划，有序推进，促使我国核电建设规模、速度、质量、效益协调发展。改革体制机制，加强与完善核电产业体制、安全监管体制和核事故应急体制，努力实现我国核电安全、稳步、高效和可持续发展。

二、应坚持安全第一的原则，进一步提高核电安全性

福岛核事故引起世界范围内对核电安全性的关注和进一步重视。世界主要核电大国如美、法、俄、英等国的表现明显更为理性和沉稳，有条不紊地开展了对本国核电安全性的重新评估，提出相应安全要求和改进措施等行动，反映出核电大国应对极端事件的丰富经验和深厚的技术基础。世界主要核电大国目前都采取了继续发展核电的立场，他们的立场和态度对整个世界核电的发展起到了基础性、稳定的作用，并继续肯定了核电是清洁、安全、低碳能源的基本认识。

我国在福岛核事故后进入了一个核电的停滞期。经过一年核安全大检查及争论和研讨，2012年10月24日，国务院常务会议审议并原则通过修订后的核电中长期发展规划，稳妥恢复核电的正常运行，并要求合理把握建设节奏，稳步有序地推进我国核电的发展。

后福岛时代的核电应遵循什么标准，是直接影响我国核电发展的重要问题。我国在核安全要求方面已开展了一系列的研究，并陆续出台了相关要求和文件，如《核电厂安全规划（2011—2020年）》《“十二五”期间新建核电厂安全要求》《福岛核事故后核电厂改进行动通用技术要求》等。在现行法规要求基础上，进一步落实最新的核安全规划、安全要求等文件提出的机组安全性、成熟性和可靠性等要求，我国现行核安全法规要求已是当前全球最高安全标准，这一点在业界已基本达成共识。**当前的问题不是标准不够高，而是如何落实和执行。**

首先要切实汲取福岛等核事故的教训和各国有益经验。福岛核事故是由于强地震引起的海啸高度超出设计，造成安全系统和设备因遭海水淹没而失效，并导致核电站长时间断电，致使燃料元件失去冷却受损，燃料元件包壳与水发生反应产生大量氢气释放出来引起爆炸，导致放射性物质大量释放到环境。尽管迄今为止，没有任何人员受到核事故放射性辐射造成健康影响的报导，但大约有5万多人受影响撤离家园，需要付出巨大的代价对生态环境进行整治，包括大片土地的去污。

福岛事故的一个重要经验教训是，对于极端自然灾害和严重事故这样的小概率事故序列缺乏防范意识和应对预案。由于没能预见核事故和自然灾害可能同时发生，缺乏应对核事故的规程和措施，致使在出现长时间电力中断的紧急情况时不知如何应对。

国际核能界已认识到需要进一步提高核电站的安全性，包括：增强安全壳及其安全设施对事故的缓解功能，实现从设计上实际消除大规模放射性向环境释放；提升严重灾害情况下电源的可靠性，以及保证监测关键参数仪表的可靠性；增强应对长时间多机组发生事故应急计划的准备和能力，以及进行决策、辐射监测和公众教育方面的应急准备等。我国核能界也应切实汲取福岛事故经验教训，进一步提高自身安全水平，就应对极端自然灾害和严重事故的缓解能力不足、核事故应急响应能力不足等问题，切实落实改进措施。

在提高自身核安全水平和加强应对极端外部自然灾害和严重事故的能力方面，我国核电厂应认真落实安全综合大检查的整改意见，找出与最新安全标准的差距和薄弱环节，分阶段地对原设计进行补充和提升，不断提高核安全水平，全面推进严重事故管理导则制定并强化演练，提高运行人员素质，着力加强厂内应急能力尤其是事故应对能力的建设。

在核事故应急响应能力方面，我国急需在以下方面采取针对性措施：①切实加强完善核事故应急体系；②要加强根据事故级别能迅速集中所需的技术力量来应对事故的能力，尤其在事故处置的早期，以防止事故的升级与扩大；③应急物质贮备，要到达既充分又避免经济上的过分负担，并应在国家的统一部署下由电厂、相应主管部门、核电集团和核电厂运营单位等各方协调并落实执行；④各电厂要抓紧制定严重事故管理导则，并跟上国际趋势，扩大所覆盖的严重事故的情景和范围。

为落实国务院常务会议的精神，我国在核安全要求方面已开

2011年3月日本福岛核事故后，中国工程院组织了“我国核能发展再研究”咨询课题，着眼于新的核电发展形势下我国核能安全发展、规模发展和可持续发展所面对的矛盾，重点分析近期和长远我国核能发展需要解决的若干重要问题。习近平主席在全球核安全峰会上全面阐述了中国的“核安全观”，我国核电发展要全面贯彻落实。本研究就我国核电发展的指导方针和战略定位、核电发展速度和规模、核电发展的支撑能力以及核能的长期可持续发展应考虑的问题等提出如下看法。



大亚湾核电站

国图

展了一系列的研究工作，并陆续出台了相关的法规文件督促实施。国际原子能机构新颁布的《核电厂安全设计》(IAEA SSR/2/1)等新文件，也更多地是对当前法规中一些原则性要求的工程落实提出了切实的要求，例如“实际消除大量放射性释放”“设计扩展工况”“安全壳在极端工况下保持完整性的能力”等。这些具体要求怎么在新核电项目中落实，应是当前新核电项目设计和安全审查的重点。

三、重视并做好核电中长期发展的顶层设计

实现我国核电规模化可持续发展，涉及今后几十年的战略部署和安排，涉及到众多行业和巨额投资。我国核电只有发展到相当规模才有战略意义。稳步把握好节奏和布局，有效保证整个核电产业的稳步发展，必须有一个明确的、可预见的核电中长期发展的顶层设计，以促进核能相关产业的良性循环发展。这也是法国等核电发达国家关于核电发展总结的重要经验之一。应在核电发展战略指导下，在对核燃料可供性和相关技术发展的科学评估基础上，加快制定有关我国核电可持续发展的中长期规划，并建立能够持续评估相关规划可控性和可调整性的能力。

截至目前，我国已运行核电机组21台，装机容量约1800万千瓦；在建27台，总装机容量大于4000万千瓦。根据我国长期能源战略的需求，按照确保安全、稳步推进的指导思想，建议：2020年前应按照相关规划和要求，切实落实有关安全要求，夯实基础能力建设，并加强布局和机制体制的完善。2020年核电厂运行的装机容量预期达到约5800万千瓦，在建3000万千瓦。2020年以后逐渐扩大规模，逐步提高核电在总发电量中的比重，到2050年争取占比15%左右，达到目前国际核电发达国家的平均水平。

四、加快推进我国自主创新的第三代核电技术的开发应用

由于受福岛核事故的影响，原先计划建造的二代改进型的核电项目已经停建，国外引进的新堆型批量投产的时间也较原计划有所延误，已造成核电设备制造产能大量闲置。**当前应尽快采取措施解决好过渡期的问题，以免核电建设大起大落，不利于整个产业链的稳步发展。**在作为遗留问题考虑的几个核电厂址上，如红沿河5、6号机组，阳江5、6号机组以及田湾5、6号机组，少量建设几台以目前二代改进型技术为基础的机组，并根据满足《核动力厂设计安全规定》(HAF102-2004)《福岛事故后核电厂改进行动通用技术要求》和《核安全与放射性污染防治“十二五”规划及2020年远景目标》的概率安全目标的要求增加相应的改进措施，以保持产业链的循序渐进发展，并给目前在运和在建的二代改进核电机组建立示范，应为一个可考虑的措施。

同时，**应加快推进自主创新的第三代核电技术的开发和应用。**在国家能源局和国家核安全局的大力支持和指导下，中国核电集团公司和中国广东核电集团公司在原有的二代改进型成熟技术的基础上，充分借鉴融合了国际核电技术的先进设计理念，以及我国核电站多年来设计、建造、运行的经验，共同开发出“华龙一号”自主创新的第三代核电技术。它可与我国以引进三代技术为参考研发的CAP1400大型先进压水堆核电站技术相辅相成，满足参与国内和国际核电市场的竞争需要，有利于我国核电产业稳步高效的发展。我们建议国家对于“华龙一号”自主创新的第

三代核电技术的开发应用继续给予积极的支持。

五、稳步启动内陆核电示范工程的建设

根据环保部对我国各选厂址的分类评价和研究，我国目前比较成熟的各选厂址中有近四成是内陆厂址。而且随着国家经济发展向中西部延伸，内陆地区经济加快发展，对电力的需求亦趋增加，因此，我国需要进一步发展内陆核电，**内陆核电是我国核电规模化发展的重要组成部分。**

受福岛核事故的影响，内陆核电的发展受到更多的关注，因而就我国拟建内陆核电厂的安全选址、用水等普遍关心的问题给予充分和科学的解答，是很有必要的。

应深入研究福岛核事故放射性废水泄漏的经验教训，采取可靠保障的措施，确保内陆核电厂的安全。国外压水堆核电厂不少建造在内陆，国际实践表明，内陆核电厂正常运行期间放射性液态流出物排放通过沉积、吸附对受纳水体造成的实际累积影响十分轻微，完全符合环保标准，不致造成生态影响。但是福岛核事故造成放射性废水泄漏到海洋的经验教训亦值得我们给予高度重视。

为了切实保障在极端事故工况下内陆核电厂放射性污染是可防止的、事故后果是可控的，我国内陆核电站应制定严重事故工况下确保水资源安全的应急预案。该预案应体现预防和缓解并重的安全理念。目前相关单位的研究表明，内陆核电厂在严重事故工况下产生的放射性污水，可以按照“可存贮”、“可封堵”、“可处理”和“可隔离”的四项原则进行防范和应对，切实做到“后果可控”。目前已经提出了一系列可行的工程措施，并正在进行详细的工程论证。

建议从保障我国能源安全、环境安全和可持续发展的长远目标出发，稳妥启动内陆核电示范工程的建设。在此过程中，对于内陆核电问题中普遍关注的几个方面，如内陆核电厂址的选择和安全性（尤其是对地震等灾害的防止）、严重事故工况下确保水资源安全等，必须通过开展针对性的科学论证，采取周全的工程技术措施。

同时，针对福岛事故后核电发展的新形势，必须转变发展方式和工作方式，采用民主、科学、信息透明的决策程序和方式，建立政府主导，公众、企业、专家共同参与的核项目酝酿、论证机制。理性谋共识，科学谋发展，使人们普遍认识到发展核电是经济—环境双赢的战略举措，公众是核电发展的受益者，提升全社会对核电的信心。

六、我国核能可持续和长远发展应考虑的相关问题

1. 铀资源的供应不构成对我国核电发展的根本制约

我国已探明的保有铀资源储量可以保障2020年核电发展规模的需要。从更长远角度考虑，则我国核电发展对铀资源的需求应立足全球。国际上将核燃料均视为一种“准国内资源”。世界核能大国铀资源的保障都是利用“两个市场、两种资源”，“较多发展核电的国家不产铀，较多产铀的国家不发展核电”的格局已延续了几十年。全球铀资源对核电发展的供应是充分的。福岛核事故后，国际铀价下跌，预计在今后一段时间内总体上还将呈一定的

下跌趋势。目前，我国已建立天然铀储备制度，国内企业开展的铀资源海外开发和天然铀采购取得突破性进展。通过加强国内铀矿勘查和开发，加强对国外铀资源的开发和贸易采购，建立多元化的铀资源保障体系，能够为我国核电发展提供有效的资源支撑。**实施“国内生产、海外开发、国际贸易”三条渠道并举的天然铀保障体系，铀资源的供应不会成为本世纪中叶前我国核电发展的制约因素。**

我们同时建议：我国铀资源储量潜力较大，但勘查程度总体较低，需要加大投入；铀矿勘探和采冶技术、资源利用率有待进一步提高，需要大力开展科技攻关；从海水中提取铀的潜力也值得重视；国内铀矿的所有权和采矿权之间的矛盾仍较突出；我国的海外铀资源开发需要进一步加强统筹协调；快堆、MOX燃料的研发工作刚刚起步，急需加大工作力度，为核电发展的资源保障提供坚实的基础。同时，应充分利用福岛核事故后世界核电发展趋势变缓的时机对铀资源进行储备。

2. 核电全产业链各环节的协调、配套和科学发展

核电全产业链的协调配套发展是保证核电可持续发展的重要环节。纵观国际核电大国的发展经验，可以总结为如下特点：(1) 核电发展应由国家统一规划、集中管理，并有完善的法规体系确保核电的良性发展；(2) 拥有力量雄厚的核岛主设备供应商、富有经验的核电运营商以及核电工程公司，这是本国核电能够规模发展的重要支撑条件；(3) 拥有成熟而配套的核燃料循环产业，确保核电产业前端的稳定和后端的安全；(4) 具备核电关键工艺、设备的自主研发和制造能力。

建议从国家层面进一步统筹规划，改革体制机制，正确引导全产业链各环节的发展，促进核能行业的有效整合，集中资源，切实提高核电厂设计、制造、建造、调试和运行等方面的能力和水平，逐渐形成具有统筹设计、制造、成套和集成能力的核岛主设备供应商和专业化国际型核电工程总承包公司，打造世界范围内核电技术竞争力。

核电全产业链的协调配套发展，应充分重视乏燃料贮存、处理以及放射性废物的最终处置问题（包括核设施的安全退役）。这是国际核电工业面临的重要问题之一，应予高度重视，须及早研究筹划，并落实措施。其中，对放射性废物中高放射性长周期的核素，如次锶元素(MA)等必须加以减容并有效处置，以降低未来长期的辐射环境风险。

3. 必须加强核电技术基础科研和技术创新能力

我国应进一步整合核电技术基础研发队伍，统筹协调企业研究院和设计院、高等院校、中科院研究所等相关单位，使得高等院校、核能企业及其他研究机构纵深配置，按照各自的分工从事基础性、前瞻性核能科学与技术研究，根据市场需求不断开发有前景的新技术，避免低水平重复。鼓励各种新型堆、新概念的自主创新研究，相关的新材料、新工艺和软件研究、核聚变技术的前期研究等，并适时进行科学评估。此外，还应引导核能设计院和研究院做好和高等院校、中科院研究所的衔接工作，将从事基础研究和应用研究单位的成果产业化、市场化，并在这个过程中培养自己的科研队伍。同时，也应加强企业科技及研究所、企业、高校等协同创新。

核工业是技术与资金投入密集的产业，需要高素质的专门人才。当前核电队伍的总体素质还需进一步提高，仍缺乏有丰富实践经验的骨干、技术创新的领军人物和高级经营管理人才。要加强高端人才引进和培养的力度。在保证人才总量的前提下，重点在于提高质量和优化结构，需要高等院校和核能企业统一规划，密切合作，协调发展，使之与核电发展的规模相适应。

4. 理顺和夯实我国核电的安全监管体制和产业管理体制，积极稳妥进行核电产业体制改革

有力的核安全监管和产业管理体制是核电规模化发展的基础，应重点加强核安全监管、核事故应急以及核电站最终安全责任制，并理顺核电相关的产业结构和管理体制。我国核电产业管理体制上的协调配套程度也显不足。另外，当前核电发展中出现的不良价格竞争等问题，应该给予充分重视。

加强核能安全监管体系和能力建设：随着我国核电规模增加，堆型增多，核安全监管难度进一步增大。建议采取有效措施切实增强核安全监管的权威性、独立性、有效性，同时，应把握好重大科技专项、“十二五”国家科技计划等机会，落实能力建设有关的工作，完善监管手段，提高监管能力。

增强核事故的应急管理能力和建设：认真汲取福岛核事故应急响应经验教训，包括在人力资源、物质资源、法规导则的制定等方面的缺失与不足。加强和完善与应急相关的管理体制，重点加强中央、地方政府、企业集团和核电厂之间的统一协调和决策。各电厂应抓紧制定严重事故管理导则，加强事故处置早期厂内的应急，以防止事故的升级与扩大。同时，还应统筹和增强极端外部事件条件下应急能力的建设。

完善核电站最终安全责任制：我国核安全监管许可证制度明确了核电站运营单位是最终安全责任的主体。由于目前投资主体的多元化和运营的专业化，使我国核电厂持证形式存在着几种不同的模式，应进一步结合我国国情认真研究，尽快明确和落实其合适的持证模式和应负的责任。同时还应明确与落实在核电建设过程中各有关任务承担单位的责任，从源头上把好安全关。

积极稳妥进行我国核电产业体制改革：科学合理的产业结构是核电健康快速发展的基础。应认真总结国内外发展核电经验，特别是我国与主要核能国家发展经验教训的对比分析，结合我国国情，积极稳妥地进行我国核电产业体制的改革。这是一项十分重要的任务。应从国家层面进一步统筹规划，推进改革，促进核电行业的有效整合，集中资源，使国家利益最大化。

5. 切实加强核安全文化建设和教育

加强与核电站建设运行有关的一切工作和活动（包括研发、设计、制造、施工安装、调试、运行、维护维修、测试等）的质量保证和监管，对存在的问题要增强透明度，严肃处理违规行为，使核安全文化的教育和建设贯穿核电发展的全过程。要大力加强向公众普及核能、核安全知识的宣传教育，鼓励和吸引公众的参与，并加强与科技界、决策层等相关方面的深入交流和沟通，使我国核电的发展有更好的社会基础和文化基础。