



中国核能行业协会
CHINA NUCLEAR ENERGY ASSOCIATION

我国核电建设典型问题 分析及应对建议

赵成昆 赵高峰
2021年5月

规范有序
共享经验

平等自愿
合作开放

持续改进
追求卓越





1

● 核电建设总体情况与前景

2

● 加快我国核电建设的标准体系建设

3

● 提升关键设备的可靠性

4

● 提升核电工程建设管理能力

5

● 培养高素质建设队伍，保障核电工程建设质量与安全

6

● 以质量为生命线，避免行业无序竞争，低价中标

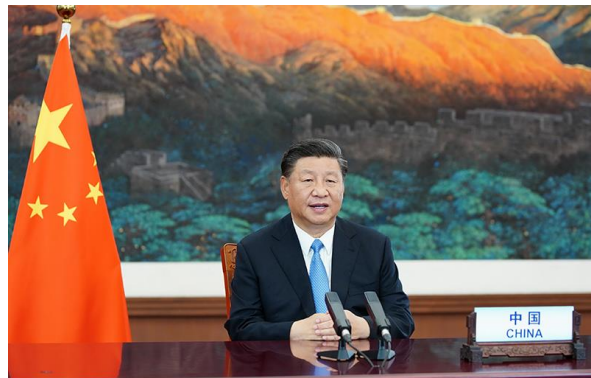
7

● 提升工程建设阶段的核安全文化水平

一、核电建设总体情况与前景

2020年9月22日，中华人民共和国国家主席习近平在第七十五届联合国大会一般性辩论上发表重要讲话时承诺：

“中国二氧化碳排放力争2030年前达到峰值，努力争取2060年前实现碳中和。”



2021年3月5日召开的十三届人大四次会议上，国务院总理李克强《政府工作报告》中关于2021年重点工作里提出：“推动煤炭清洁高效利用，大力发展新能源，在确保安全的前提下，积极有序发展核电。”



一、核电建设总体情况与前景

- “十四五”是碳达峰的关键期、窗口期，国家从能源供应安全、经济和可持续发展角度统筹考虑，重新将核电作为一种达峰重要能源发展，为核电发展营造了新的政策机遇期。
- 2021年3月14日，我国第十四个五年规划和2035年远景目标纲要发布，重点提及了有关核电的以下内容：

- ① 建设华龙一号、国和一号、高温气冷堆示范工程，积极有序推动沿海三代核电建设；
- ② 推动模块式小型堆、60万千瓦级商用高温气冷堆、海上浮动式核动力平台等先进堆型示范；
- ③ 建设核电站中低放废物处置场，建设乏燃料后处理厂；
- ④ 开展山东海阳等核能综合利用示范；
- ⑤ 核电运行装机容量达到7000万千瓦。

专栏6 现代能源体系建设工程

01	大型清洁能源基地 建设雅鲁藏布江下游水电基地。建设金沙江上下游、雅鲁江流域、黄河上游和几字湾、河西走廊、新疆、冀北、松辽等清洁能源基地，建设广东、福建、浙江、江苏、山东等海上风电基地。
02	沿海核电 建成华龙一号、国和一号、高温气冷堆示范工程，积极有序推进沿海三代核电建设。推动模块式小型堆、60万千瓦级商用高温气冷堆、海上浮动式核动力平台等先进堆型示范。建设核电站中低放废物处置场，建设乏燃料后处理厂。开展山东海阳等核能综合利用示范。核电运行装机容量达到7000万千瓦。
03	电力外送通道 建设白鹤滩至华东、金沙江上游外送等特高压输电通道，实施闽粤联网、川渝特高压交流工程。研究论证陇东至山东、哈密至重庆等特高压输电通道。
04	电力系统调节 建设桐城、磐安、泰安二期、浑源、庄河、安化、贵阳、南宁等抽水蓄能电站，实施电化学、压缩空气、飞轮等储能示范项目。开展黄河梯级电站大型储能项目研究。
05	油气储运能力 新建中俄东线境内段、川气东送二线等油气管道。建设石油储备重大工程。加快中原文23、辽河储气库群等地下储气库建设。



一、核电建设总体情况与前景

➤ 我国核电发展取得的巨大成就

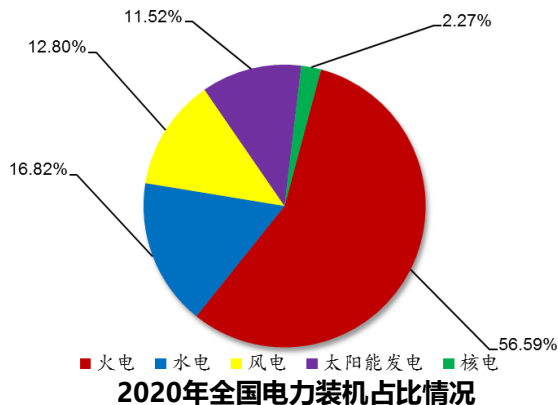
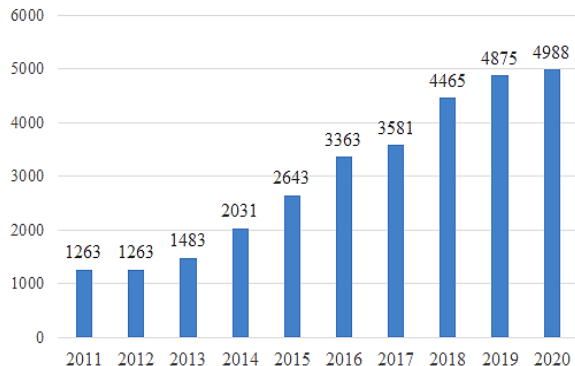
- ① 截至2020年底，我国在建核电机组17台，总装机容量1853万千瓦，在建机组装机容量继续保持全球第一。
- ② 国内在建核电工程整体上稳步推进，项目安全、质量、投资、进度、技术、环境保护等方面均得到有效控制。核电建设情况总体向好。
- ③ 核电自主创新能力显著增强，华龙一号自主三代核电技术完成研发，大型先进压水堆及高温气冷堆核电站重大专项取得重大进展，小型堆、第四代核能技术、聚变堆研发基本与国际水平同步。
- ④ AP1000、EPR三代核电技术全球首堆相继在我国建成投产并完成首炉燃料循环运行。自主核电品牌“华龙一号”的成功并网，我国在三代核电技术领域已跻身世界前列。





一、核电建设总体情况与前景

商运核电机组装机规模（万千瓦）



国内在建核电项目情况（截至2020年12月31日）

序号	机组	堆型	额定容量 MWe	开工时间
1	山东石岛湾1号	高温气冷堆HTR-PM	211	2012.12.09
2	辽宁红沿河5号	压水堆ACPR1000	1119	2015.03.29
3	辽宁红沿河6号	压水堆ACPR1000	1119	2015.07.24
4	福建福清5号	压水堆HPR1000	1150	2015.05.07
5	福建福清6号	压水堆HPR1000	1150	2015.12.22
6	广西防城港3号	压水堆HPR1000	1180	2015.12.24
7	江苏田湾6号	压水堆CNP1000	1118	2016.09.07
8	广西防城港4号	压水堆HPR1000	1180	2016.12.23
9	福建霞浦示范快堆1号 机组	钠冷快堆CFR600	600	2017.12.29
10	国核示范工程1号	压水堆CAP1400	1534	--
11	国核示范工程2号	压水堆CAP1400	1534	--
12	福建漳州1号	压水堆HPR1000	1212	2019.10.16
13	广东太平岭1号	压水堆HPR1000	1202	2019.12.26
14	福建漳州2号	压水堆HPR1000	1212	2020.09.04
15	广东太平岭2号	压水堆HPR1000	1202	2020.10.15
16	福建霞浦示范快堆2号 机组	钠冷快堆CFR600	600	2020.12.27
17	浙江三澳1号	压水堆HPR1000	1210	2020.12.31



一、核电建设总体情况与前景

- 预计到2025年，我国核电在运装机7000万千瓦左右；机组数量和装机容量将超越法国，居世界第二。到2030年，核电在运装机容量达到1.1亿千瓦左右，有望超过美国，居世界第一。核电发电量约占全国发电量的8%。
- 随着三代核电的陆续建设与投产，我国核电建设综合水平有了进一步的提升，但在一些方面，距离国外先进水平仍有差距，这些方面在未来5-10年，需要行业重点关注，并加快推进解决。





二、加快建立和完善我国核电建设的标准体系， 以适应我国核电建设和“走出去”的需要

1.现状

我国核电建设起步较晚，为加快我国核电发展步伐，改革开放以后相继从法国、加拿大、俄罗斯和美国引进核电技术，长期来处于多种堆型、多种技术和多种标准共存的局面。

(1) 核安全评审和监督标准主要来自国际原子能机构（IAEA），总体上保持与国际接轨；当前，核安全规范、导则向国标转化；

(2) 长期来我国核电设计、设备制造、工程建设和运行维护存在多国标准共存的局面；

(3) 我国近年来在核电工程建设标准制订方面付出了很大努力，形成了一批标准，但在核电站设计、建设时的采标率比较低，且标准本身尚未形成体系；

(4) 随着技术的进步和国际化的推进，应对一些老旧标准进行升级和新标准的建立（适合小堆）



二、加快建立和完善我国核电建设的标准体系， 以适应我国核电建设和“走出去”的需要

2.重要进展

➤中核集团针对华龙一号编制完成了一套自主核电标准，形成了一批与国际水平相当的国家标准、行业标准和集团企业标准，还发布了我国首项ISO核电领域的国际标准。

➤728院牵头，国内近40家单位参与的大型先进压水堆CAP1400重大专项课题“中国先进核电标准体系研究”形成了标准草案与大纲等800余项。

上述重要进展为我国核电未来的发展和核电“走出去”在规范标准方面建立了重要的基础。

问题：作为我国国家核电标准体系，今后是上述两套标准体系长期共存，还是融合成一套国家标准？



二、加快建立和完善我国核电建设的标准体系， 以适应我国核电建设和“走出去”的需要

3.建议

- 当前标准化自主化工作仍面临全面性欠佳，兼容性较差，质量有待提升等问题，需要行业进一步完善标准体系，依托行业平台，以团体标准为抓手促成行业合力。
- 推动自主标准的实施与应用，实施反馈机制，促进标准的修订与完善；
- 做好标准体系的顶层设计，加快推进标准技术路线的统一，推动标准互认、标准共建。



三、提升关键设备的可靠性

1.现状

百万千瓦级三代核电机组关键设备和材料国产化率已达88%以上，形成了每年开工建设8至10台核电机组的核电主设备供货能力，处于全球领先水平；

➤华龙一号批关键设备实现国产化制造、批量化交付，涵盖反应堆压力容器、蒸汽发生器、堆内构件、主管道、控制棒驱动机构、稳压器、主泵、汽轮发电机组、非能动余排、堆芯补水箱等各类产品。

➤国和一号示范工程设备综合国产化率达到90%以上，屏蔽电机主泵、湿绕组电机主泵、爆破阀、数字化仪控系统关键设备，超大锻件、690传热管、核级焊材等关键材料打破国外的技术封锁，实现了国产化、自主化。

➤高温气冷堆核电站项目成功解决了压力容器、蒸汽发生器、主氦风机、燃料贮运容器等核岛及常规岛的关键设备制造及加工技术难点，核岛设备国产化率达93.4%。



三、提升关键设备的可靠性

2. 主要问题

- 机组投运后，部分国产设备的工艺稳定性、质量、经济性仍有待提升。
- 设备设计能力、产品稳定性、可靠性、配套能力上，与国际先进水平仍有差距。
- 部分设备及材料的“卡脖子”情况，仍是当前面临的重要问题。

在工程阶段犯下的技术错误是整个核电行业内重大事件的主要原因之一。目前，由于国内在建核电项目建设的特点，部分工程设计、采购、施工、调试和移交投产等环节出现的偏差很难及时识别发现，具有隐蔽性，直至机组运营后才陆续暴露出相关缺陷，其后果常常导致关键敏感设备的损坏和非计划停机停堆等执照事件的发生。从核电建造阶段事件上看，设备类问题引发的事件仍占多数。另外，设备可靠性欠佳也给机组安全性、经济性带来了挑战，增加了维护与运营的成本。

三、提升关键设备的可靠性

3.建议

- 设备制造企业进一步加强质量管理体系建设，认真研究影响设备可靠性技术和管理因素；
- 质保投入和管理力度不足，过程控制不到位，质量问题时有发生。应加强质量保证能力的培育和维持；
- 加强设备研发投入，提高设备加工精度、优化设备制造管理。
- 加强“卡脖子”设备的科技攻关，做到独立自主，不受制于人。





四、提升核电工程建设管理能力

核电工程建设管理水平是影响核电工程质量的重要因素，而质量是保证核电安全的物质基础，建设期的质量就是运行期的核安全。通过协会近年来开展的核电工程建设管理同行评估活动中，可以看出，以下几方面问题，仍是当前工程建设管理中的突出问题，需要行业进一步关注，在此与大家分享：

1. 质量管控水平有待加强

- 质保大纲及质量程序体系待完善（质量管理文件缺失，程序间要求不自洽、质量事件未能形成闭环管理、不符合项分类不准确等）。
- 质保体系实施不足（质量记录收集及管控待加强，施工质量管理程序执行不充分。现场物项成品保护措施落实不到位，不合格品处置跟踪记录不完整，经验反馈规范性不足、纠正行动不彻底）。



四、提升核电工程建设管理能力

2. 现场安全工作仍面临挑战

- 核电工程建设现场大规模、多区域、交叉作业同时开展，对安全管理工作形成巨大挑战。
- 工程项目安全事故时有发生。部分区域安全措施执行不到位，存在部分安全相关管理程序和执行存在偏差的情况。土建及安装阶段施工人员安全规范执行不到位，存在高风险作业管控不严，孔洞临边防护不足，安全意识有待加强等问题，需杜绝重大安全事故发生。
- 工程现场消防工作实践和状态存在不足。





四、提升核电工程建设管理能力

3.进度管理体系有待完善，需加强贯穿性管理

各级进度计划未实现有效逻辑连接；上下游进度计划间缺乏反馈与协调，不能实现各领域进度计划的动态匹配。进度计划的接口管理存在不足，计划的检查、评估、调整存在不足，缺乏前瞻性与严肃性。

4.进一步加强工程建设阶段的上下游经验反馈

同行评估发现，核电工程建设阶段的经验反馈程序与执行存在不足。工程总包方的经验反馈体系仍需进一步完善，内外部经验反馈信息的利用仍不够充分。

5.良好实践、管理创新、技术创新的分享有待加强

行业需进一步加强工程建设阶段的经验交流工作，总结分享良好实践与经验。



五、培养适合核电科学发展的高素质建设队伍，保障核电工程建设的质量与安全

我国核电建设人才发展环境有了一定的改善。各集团也实施大力畅通职业发展通道，加大技能人才培养力度。积极推动企校联合培养计划，通过定向培养、订单+联合培养模式培养紧缺专业人才。但核电工程建设施工人员流动性大、资质和素质差异性大，仍是当前核电工程建设中面临的实际问题。

- 如何加强核电工程建设各参与方的责任感，归属感，行业认同感是保障我国核电工程建设有序推进的重要基础。
- 建议相关单位进一步健全核电工程建设人才的管理制度，以专业化、精细化分工为原则，完善各类人才职业生涯发展多通道机制。
- 深化薪酬激励体系改革，以岗位价值和员工能力为基础，积极营造正向激励的良好氛围，逐渐形成发展造就人才与人才推动发展的良好互动局面。



六、以质量为生命线，避免行业无序竞争， 低价中标

目前国内核电设备制造业不同程度存在着产能过剩、无序竞争的局面，尤其低价中标现象日趋严重，迫使制造企业长期在亏损或微利状态下运行，不利于装备制造业和核电产业健康发展，必须引起国家有关部门和核电业界的高度重视。

- 核电装备国产化是我国发展核电的重要方针，装备制造业为核电国产化付出了巨大代价，需要市场持续支持，核电用户应该给予其更多包容和理解。
- 核电装备制造业亦应结合国家核电发展规划，在提高产品的技术水平，质量水平的同时，注意发展节奏，解决真正的“卡脖子”设备上狠下功夫，避免产能过度扩张，带来资源和能力的浪费。
- 各参建单位要坚持安全第一、质量第一。规范核电工程招投标管理，将安全与质量标准作为招标文件强制性要求和条件，公开、公平、公正开展招标评标工作，防止不合理低价中标，促进核电良性发展。



七、提升工程建设阶段的核安全文化水平

我国核电建设质量总体受控，但弄虚作假和违规操作仍未完全杜绝，这反映出某些企业在核安全文化教育和质量保证体系的有效性方面存在薄弱环节，核安全责任有待进一步落实。我们对核电工程建设过程中的核安全文化建设，提出以下建议：

- 培训以核安全文化为核心的大团队文化，包括设计单位、制造单位、供应商、总包单位、施工单位、业主等，做到全覆盖。
- 进一步落实各方的核安全责任：项目各参与方按各自职责对核电工程质量负有终身责任。
- 核电建设单位应建立并完善培训、警示教育制度，建立以“安全”和“质量”为核心的安全文化理念体系，营造核安全至上的氛围。对弄虚作假和违规操作保持“零容忍”的高压态势。





中国核能行业协会
CHINA NUCLEAR ENERGY ASSOCIATION

谢 谢!