



# 2035年我国核电发展战略与展望

中国核能行业协会

2020年11月10日



- 1 我国核电发展的基础与条件
- 2 我国核电发展面临的机遇
- 3 2035年我国核电发展的思路和路径



# 一、我国核电发展的基础与条件

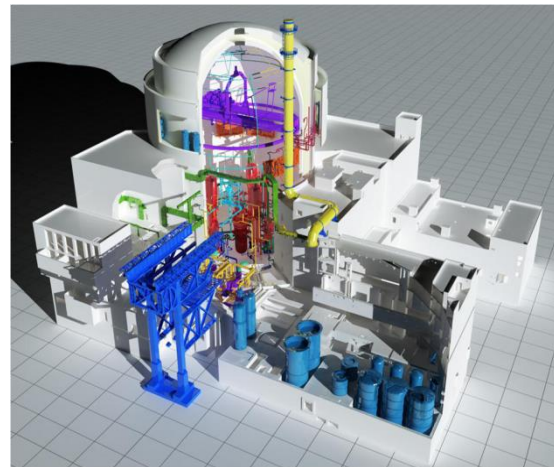
## (一) 核电安全运行，三代核电工程建设全面推进

- 截至2019年底，我国大陆在运机组47台/4875万千瓦，规模全球第三；在建13台/1387万千瓦，规模全球第一。2019年核电发电量3481亿度，发电占比4.88%；
- 核电安全总体水平位居国际先进行列，从未发生INES二级及以上的运行事件；
- AP1000、EPR全球首堆相继投运；“华龙一号”首堆建设顺利；自主三代核电进入批量化建设新阶段；国务院会议核准昌江二期和浙江三澳核电一期；
- 高温堆示范工程建设进展顺利。



## (二) 核电科技创新水平持续提升

- 压水堆技术实现了由“二代”向“三代”的跨越，形成了自主三代核电品牌；
- 多用途、多型号小堆技术开发利用取得进展；
- 高温气冷堆和钠冷快堆技术研发取得积极成果；
- 铅铋快堆技术研发取得了阶段性成果；
- 聚变堆研发工作，在基础科研、关键技术研究、关键设备材料研制等方面取得重要进展。



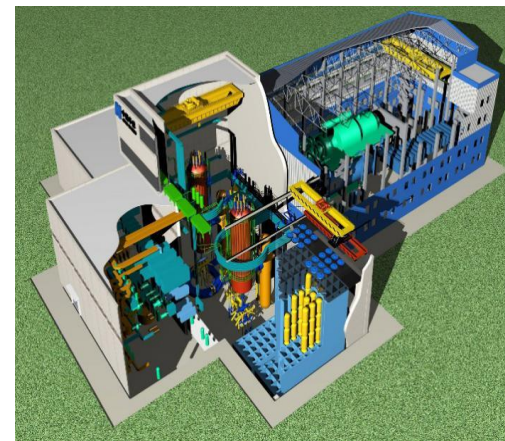
华龙一号



国和一号



快堆



高温气冷堆 5



### (三) 三代核电装备批量化制造能力已经形成

- 形成以上海、四川、东北为代表的三大核电重型装备制造基地，以及一批泵阀和核电配套设备制造企业；
- 全面掌握自主三代核电装备制造的核心技术，形成每年8~10台套三代核电主设备制造能力；
- “华龙一号”、“国和一号”设备实现自主化设计与制造，国产化率达85%以上。

#### 主要核电装备制造企业现有能力

企业	目前优势	现有能力	实际供货业绩
东方电气	具有全套核岛主设备和常规岛成套设备供货能力；自主研发了拥有自主知识产权的“华龙一号”、“国和一号”汽轮发电机组设备。	4套以上核电机组/年	岭澳一期、岭澳二期、红沿河、宁德、方家山、福清、阳江、防城港、台山、三门、海阳
上海电气	具有三十多年不间断制造经验，核电产品覆盖面最广（大型铸锻件、核岛设备、常规岛设备、电站辅机设备），供货业绩最多的设备供应商，涵盖30万、60万到百万千瓦的二代加、三代以及四代技术产品。	4套以上核电机组/年	秦山一期、二期、岭澳一期、二期、红沿河、宁德、阳江、昌江、方家山、三门、海阳、福清、防城港、台山
哈电集团	自主完成中国首台AP1000蒸发器的制造和海外华龙一号首堆蒸发器制造；承担中国屏蔽主泵电机制造拥有中国首个1000MW轴封式主泵全流量试验台；在中国650MW及AP1000核电汽轮机组市场占据统治地位。	4套以上核电机组/年	C1/C2、C3/C4、秦山二期、岭澳二期、福清、方家山、田湾、K2/K3、漳州、昌江、三门一期、海阳一期等
一重	国际上唯一取得以AP1000为代表的三代核电机组全套铸锻件制造资质的企业。完全掌握了30万、60万到百万千瓦的二代加、三代以及四代产品的核岛大型关键铸锻件和反应堆压力容器的制造技术。	5套压力容器； 10套铸锻件/年	秦山二期、红沿河、宁德、福清、阳江、方家山、三门、海阳
二重	具备二代加和三代核电机组全套铸锻件的批量供货能力；具有反应堆、稳压器等核电台设备制造资质和能力。	6~8套铸锻件/年	红沿河、宁德、防城港、福清、三门、海阳、田湾、方家山、昌江、K3、山东荣成石岛湾。

## （四）核电工程建造能力持续提升

- 核电工程建设管理自主化能力和总承包能力持续提升，技术水平保持国际先进行列；
- 已成功实现了多项目、多基地同步建设，全面掌握了压水堆、重水堆、高温气冷堆等多种堆型不同容量的核电机组建造技术；
- 具备了可同时开工30台以上核电机组的建造能力。



福清华龙一号现场



石岛湾核电项目



## (五) 核能科技创新体系不断完善，专业队伍不断扩大

- 先后成立和支持了一批国家能源核能技术研发中心、重点实验室，紧紧围绕核能科技发展的前沿和方向，进一步加强了核能科技创新和技术服务体系建设；
- 核电领域各类专业从业人员达到17余万人。

国家能源核能技术研发中心（重点实验室）名单

序号	研发（实验）中心（实验室）名称	依托单位
1	国家能源压水反应堆研发中心	中核集团中国核动力研究设计院
2	国家能源先进核燃料元件研发中心	中核集团、核动力院、中科华核电院
3	国家能源快堆工程研发中心	中国原子能科学研究院
4	国家能源核电站核级设备研发中心	中国广核集团
5	国家能源核电站寿命评价与管理研发中心	中国广核集团、中科华核电技术研究院
6	国家能源核电工程建设技术研发中心	中国广核集团、中广核工程有限公司
7	国家能源核电站仪表研发中心	上海工业自动化仪表研究院
8	国家能源核级锆材研发中心	国家核电技术公司
9	国家能源核电站数字化仪控系统研发中心	北京广利核系统工程有限公司
10	国家能源核电软件重点实验室	国家核电技术公司





## (六) 核电厂址资源可支撑核电更大规模化建设

- 截至2019年底，已选定核电厂址共计75个，总规划容量4.1亿千瓦；
- 为推进核能多用途发展，正在开展小型堆厂址普选；
- 选定的厂址资源为核电批量化、规模化发展奠定了基础。

我国核电厂址资源

	厂址数 (个)	可支撑装机 (千瓦)	所在省/市
滨海厂址	38	2.3亿	辽宁、河北、山东、江苏、浙江、福建、广东、广西和海南
滨河(湖)厂址	37	1.8亿	吉林、浙江、安徽、河南、湖北、湖南、江西、四川、重庆、福建、广东、广西
总计	75	4.1亿	



## (七) 天然铀供应保障能力加强

- 铀资源勘探能力持续提升，已形成100万米/年左右的勘探能力；
- 铀生产能力不断增长。
  - 2019年国内产量达到XXXXtU，截至2019年底，已探明且经济可采的铀资源储量XX万吨；
  - 截至2019年底，掌控和参股海外铀资源项目产能1.1万吨/年，其中中方权益产能7000吨/年；掌控海外铀资源66万吨，其中中方权益资源量近40万吨。
- 已探明全球铀资源储量能够支撑我国核电发展；但从天然铀产能来看，2025年以后，还需要上新的铀矿项目，以弥补2030年以后天然铀产品不足。



纳米比亚湖山铀矿



罗辛铀矿



## (八) 核电燃料加工能力不断提升

- **铀纯化转化**：完成了单线3000吨/年的铀纯化转化一体化工程设计，形成了万吨级生产能力；
- **铀浓缩**：专用设备性能、浓缩工厂设计、建造、运行技术达到国际先进水平，实现了国产专用设备大规模应用；
- **核燃料元件加工**：形成的生产能力满足核电发展需求；
- **关键材料**：自主研发N36锆合金已完成随堆考验，形成规模化生产能力；CZ系列锆合金已完成所有堆外性能试验，研制的STEP-12组件入堆考验；
- **后处理**：后处理科技专项取得重大成果，具备了一定的技术实验验证能力，为大型后处理工程自主化建设奠定基础。

我国核燃料元件主要产能

组件类型		812厂	202厂	哈萨克组件厂
压水堆	AFA3G组件 (tU/a)	800	200	200 (在建)
	AP1000组件 (tU/a)	/	400	/
	VVER组件 (tU/a)	50	0	/
重水堆	CANDU-6 (tU/a)	/	200	/
高温气冷堆 (个球/a)		/	30万	/



## (九) 核电法规和标准体系逐步完善

- 法律2部；
- 行政法规10项；
- 部门规章29个；
- 导则94个和上百项技术文件；
- 各类标准1800余项。

### 核能法律法规一览表

序号	名称	备注
<b>法律2部</b>		
1	《中华人民共和国核安全法》	2017年9月1日颁布， 2018年1月1日起实施
2	《中华人民共和国放射性污染防治法》	2003年6月28日颁布， 2003年10月1日起实施
<b>行政法规10项</b>		
1	《放射性废物安全管理条例》	2011年颁布
2	《放射性物品运输安全管理条例》	2009年颁布
3	《民用核安全设备监督管理条例》	2007年颁布
4	《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》	2005年颁布，2014年修订
5	《核两用品及相关技术出口管制条例》	1998年颁布，2007年修订
6	《核出口管制条例》	1997年颁布，2006年修订
7	《核电厂核事故应急管理条例》	1993年颁布，2011年修订
8	《放射性药品管理办法》	1989年颁布，2017年修订
9	《核材料管制条例》	1987年颁布
10	《民用核设施安全监督管理条例》	1986年颁布



## (十) 核电“走出去”推动产业开放发展

我国核能行业秉持开放合作、互利共赢原则，不断加强核能国际交流合作，推动核电“走出去”。“华龙一号”海外首堆热试成功，为机组装料、并网发电等重大节点奠定坚实基础。



巴基斯坦K-2/K-3项目



HPC核电项目2号机组浇筑完成现场



## 二、我国核电发展面临的机遇



## （一）核电在清洁低碳能源中具有重要地位和作用

- 我国在《巴黎气候协定》中承诺，到 2020 年非化石能源消费比重达到 15% ，2030 年达20% ，2050年超过50%。
- 2020年9月，习近平主席在联合国大会上宣布，二氧化碳排放力争于2030年前达峰，努力争取2060年前实现碳中和。**这将加快推进我国能源结构向以清洁低碳能源转型的跨越式发展。**

2019年，我国核能发电相当于减少燃烧标准煤10687万吨，减少CO<sub>2</sub>排放28001万吨，减少SO<sub>2</sub>排放90万吨，减少氮氧化物排放79万吨。

百万千瓦级电源典型项目环境影响等效替代情况比较

电源形式	利用小时数	等效减排	等效植树造林/公顷
核电	7000-8000	572.2万-654万吨CO <sub>2</sub> 、1.9万-2.1万吨SO <sub>2</sub> 、1.6万-1.8万吨NO <sub>x</sub>	24.4万-27.6万
风电	1900	155万吨CO <sub>2</sub> 、0.5万吨SO <sub>2</sub> 、0.43万吨NO <sub>x</sub>	6.6万
光电	1200	98万吨CO <sub>2</sub> 、0.31万吨SO <sub>2</sub> 、0.28万吨NO <sub>x</sub>	4.2万



## （一）核电在清洁低碳能源中具有重要地位和作用

- 十九届五中全会提出关于能源发展的目标和举措

**“十四五”目标：**能源资源配置更加合理、利用效率大幅提高，主要污染物排放总量持续减少。

**2035年远景目标：**广泛形成绿色生产生活方式，碳排放达峰后稳中有降，生态环境根本好转。

**重要举措：** 要提升产业链供应链现代化水平，发展战略性新兴产业，统筹推进基础设施建设，加快建设交通强国，**推进能源革命，加快数字化发展**。要加快推动绿色低碳发展，持续改善环境质量。

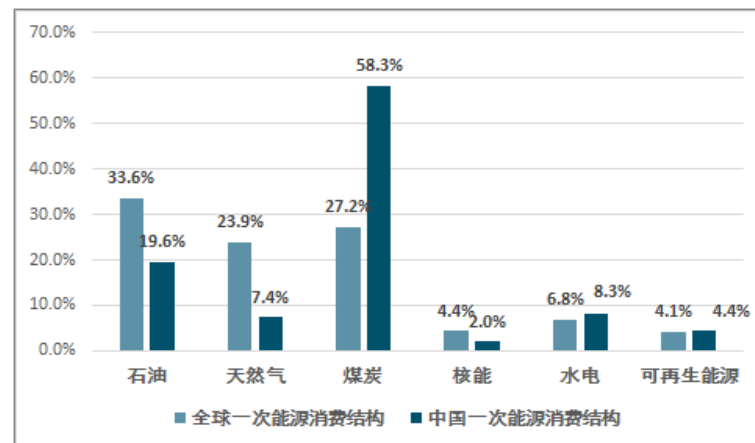
- 保持一定规模与碳中和国家战略相适应的核电发展空间，是我国兑现减排承诺，助力全球达成温控目标的必然选择。



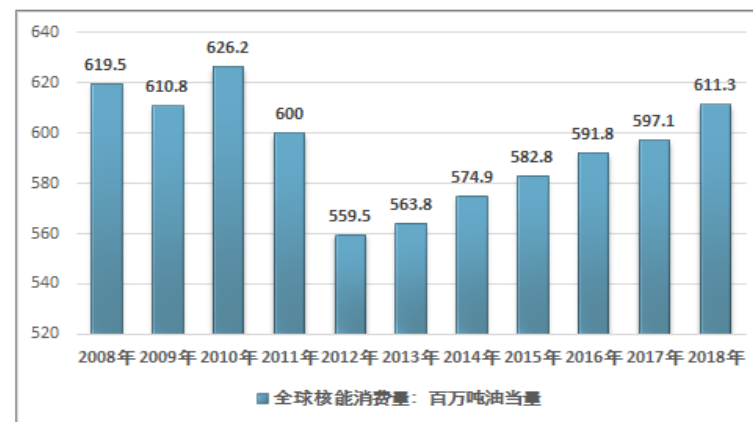


## (二) 发展核电是促进我国能源安全发展的重要途径

- 我国一次能源对外依存度较高；国际局势复杂多变，对我国能源安全保障不断提出新挑战。
- 铀能量密度大，易储存，有助于提高我国能源安全保障。
- 核能还可在散煤替代、清洁供暖、高温制氢、海洋开发、空间探索、海岛及偏远地区供电、海水淡化等诸多领域发挥重要作用。



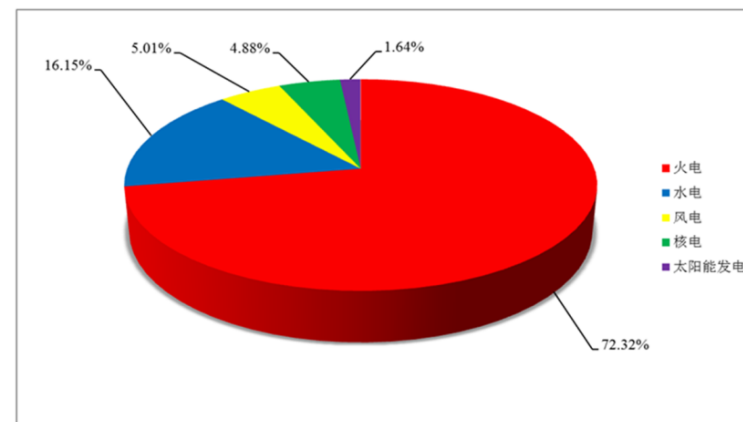
2018年世界和我国一次能源分品种消费占比图



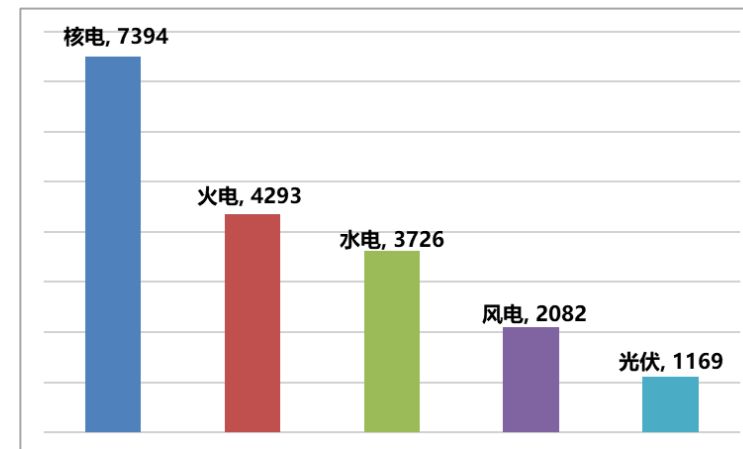
全球核能消费逐步恢复

### (三) 核电是保障电网安全稳定运行及与可再生清洁能源协调发展的迫切需求

- 核电运行稳定、可靠、换料周期长，适于承担电网基本负荷及必要的负荷跟踪，是目前唯一可大规模替代化石能源的基荷并具备一定负荷跟踪能力的电源。
- 核电与风电、太阳能发电等间歇性、季节性可再生能源协调发展，可为电网提供安全稳定运行和优质电能供应支撑，有利于提高电网运行的稳定性和安全性，增强电网抵御严重事故的能力，降低大面积停电风险。



2019年我国电力生产结构示意图



2019年我国各发电类型机组利用小时数情况



## （四）核电在我国未来发展中有着广阔的市场空间

- 未来十五年我国经济社会规模将持续发展壮大，人均能源消费水平将不断提高，电力需求仍有较大增长空间。
- 研究预测，到 2025、2035 年，我国电源装机容量将分别达到 26 亿千瓦和 36 亿千瓦左右，与 2020 年相比其增量部分将以清洁能源为主，核电等清洁能源市场前景广阔。
- 疫情造成国际能源和电力消费适度放缓，但我国经济长期向好的基本面没有改变，从核电发展长远角度来看，发展趋势未变。

从电力需求角度看，综合考虑环境空间、资源条件、电力系统等因素，要实现非化石能源发电50%目标，需要规模发展核电，2035年核发电占比要提高到12%，对应核电装机约2亿千瓦

预测一

预测二

从全球核电发展趋势，综合考虑我国经济发展及核电政策与规划，2020-2030年每年核准6-8台，2031-2035年每年核准8-10台，则2035年装机规模预计1.8亿千瓦，容量占比约5%，核发电占比约10%



## (四) 核电在我国未来发展中有着广阔的市场空间

核电发展规模（万千瓦）

预测方案	2025	2030	2035
低位	9000	11800	15000
高位	11000	13800	18000

注：以2020年底在运/在建为基础，按6台百万千瓦级机组/年增速作为低位，8台百万千瓦级机组/年增速作为高位测算。

上下游产业链需求

加工环节	2035年需求
天然铀 (tU)	3.0万~3.6万
铀转化 (tU)	25000~27700
铀浓缩(tSWU)	18000~20480
压水堆元件(tU)	2500~3084
乏燃料累计产生量 (tHM)	38767
中低放废物产生量 (立方米)	81650

此外，核电作为现代高科技密集型的战略性产业，对于材料、机电、仪表、冶金、化工、建筑、交通、服务等其他产业的需求拉动效应十分明显。



## （五）我国核电发展外部环境影响因素

- 世界正经历百年未有之大变局，新冠疫情全球大流行，世界经济低迷，经济全球化遭遇逆流，保护主义、单边主义上升，发达国家推进制造业本地化。未来核电国际市场需求存在较大不确定性，产业链供应链存在不稳定性，核电海外开发、投资与贸易风险上升。
- 中美进入全面战略竞争新阶段，美国将中国列为核能领域主要竞争对手，调整本国核能产业政策应对威胁，核能交流与合作受限。
- 我国正在形成以国内大循环为主体、国内国际双循环相互促进的新发展格局。
- 光伏、风电等平价上网时代已经来临，在2060碳中和目标下，可再生能源发电将进入规模化“倍速”发展阶段，发电成本进一步下降。
- 新一轮科技革命蓄势待发，人工智能、5G等不断突破，推动新产业、新模式、新业态的快速发展。



## 三、 2035年我国核电发展的思路和路径



## （一）总体发展思路

要以习近平新时代中国特色社会主义思想 and 党的十九大、十九届五中全会精神为指导，全面贯彻新发展理念和“四个革命、一个合作”的能源安全新战略，按照“安全、创新、开放、协调、高效”的发展原则；在确保安全的基础上，批量化、规模化发展核电，提高经济性，提高市场竞争力；构建先进核能技术体系和产业体系；积极推进核能多用途开发利用，提高自主创新能力、装备制造国产化能力、天然铀供应保障能力、核燃料加工能力和后处理能力；推动先进信息技术与核电产业的深度融合，加快数字核电建设，带动核电全产业链转型升级，实现我国由核电大国向核电强国转变。



**坚持安全发展**，核安全是核能发展的生命线，把核安全放在高于一切的位置。

**坚持创新发展**，全面突破制约我国核电产业发展的重大关键技术和卡脖子问题。

**坚持开放发展**，加强国际核电合作，有效开拓利用海外市场和资源。

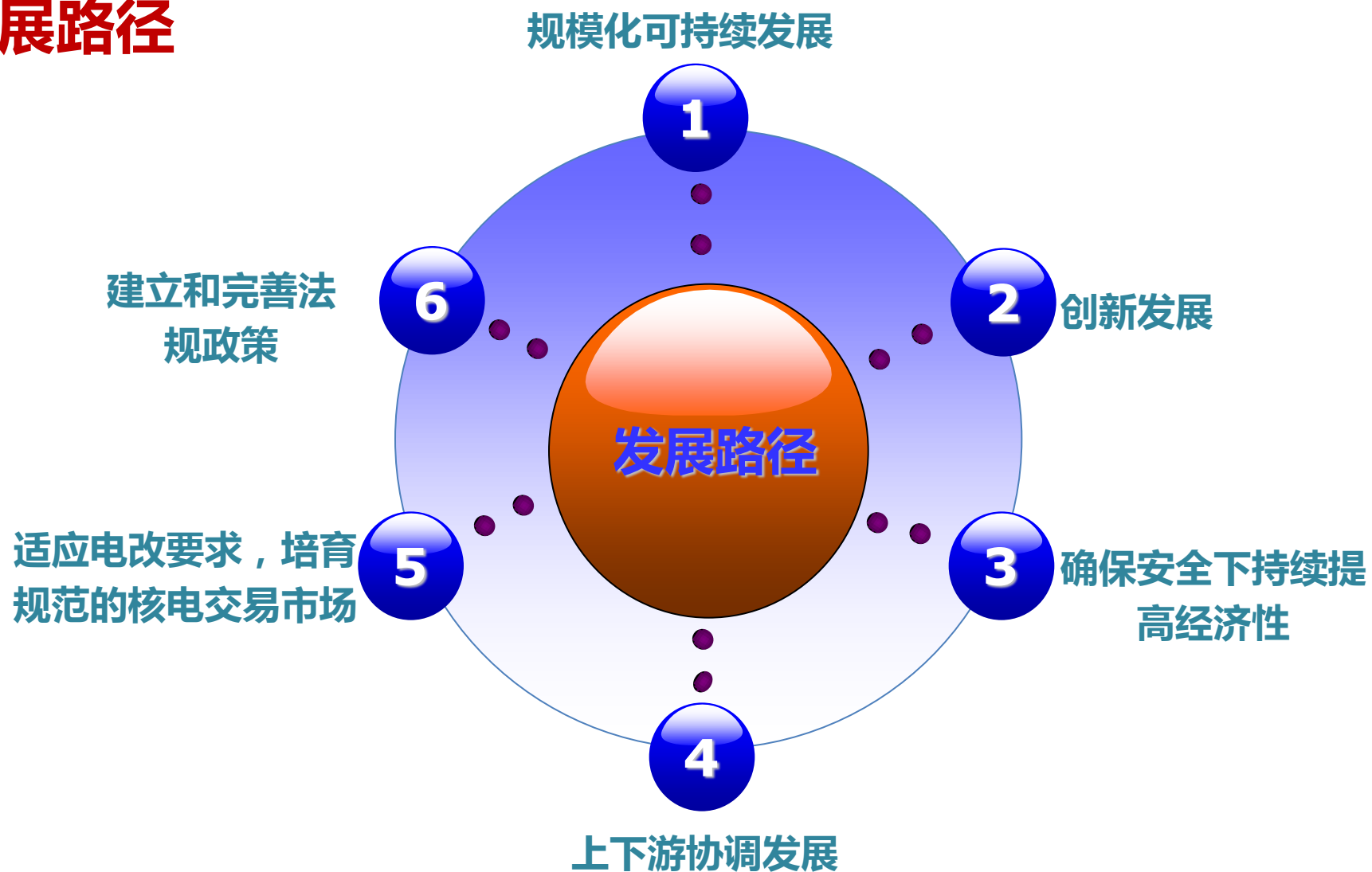
**坚持协调发展**，保持稳定可持续的发展节奏，统筹协调核电上下游产业链发展。

**坚持高效发展**，适应电力市场改革要求，促进核电产业转型升级及降本增效。





## (二) 发展路径





# 1. 推动核电规模化可持续发展

## 平稳推进核电批量化建设

- 2020 ~ 2035年核电发展技术以压水堆为主，多种机型并存，可供选择的重点机型为“华龙”、“国和”等；
- 每年新开工压水堆6 ~ 8台，对同一型号机型，批量化建设不少于30台；
- 2025年在运规模7000万千瓦以上，装机占比3%，核发电占比6%，相对高效燃煤发电年度可实现碳减排4.5亿吨左右，在建规模4000万千瓦；
- 2035年核电在运和在建规模2亿千瓦，装机约占5%；核发电占比10%，相对高效燃煤发电年度可实现碳减排10亿吨左右；
- 加快核能多用途推广（热电联产、清洁供暖等）。



# 1. 推动核电规模化可持续发展

## 优化核电建设布局，加强厂址开发保护

- 原则上先沿海后内陆，在同一厂址以“统一规划、分批建设、群堆管理”模式为主；“十四五”期间力争在电力负荷较大、电网安全运行枢纽地位重要以及可再生能源资源匮乏且成本较高的华中地区，适时启动内陆核电建设；
- 项目布局应考虑因素：服从能源供应整体战略；先滨海厂址，后滨河（湖）厂址；区域电力市场电力供应与需求；厂址条件与公众接受度；
- 加强厂址规划保护与开发性保护，积极创造条件，落实核电建设项目，使厂址得到应用。



# 1. 推动核电规模化可持续发展

## 推进核电“走出去”

- 以“一带一路”为重点，分类实施核电开发合作战略；
- 以核电为龙头，带动高端设备及核燃料产品“走出去”；
- 带动核电项目管理、技术服务等“走出去”；
- 推动风电、光伏等清洁能源项目国际合作开发。



## 2. 推动核电创新发展

针对自主化三代不断优化设计改进，形成型号系列

- 对“华龙”、“国和”等自主三代机型，通过设计改进和优化，形成型号系列，做大做强核电品牌。





## 2. 推动核电创新发展

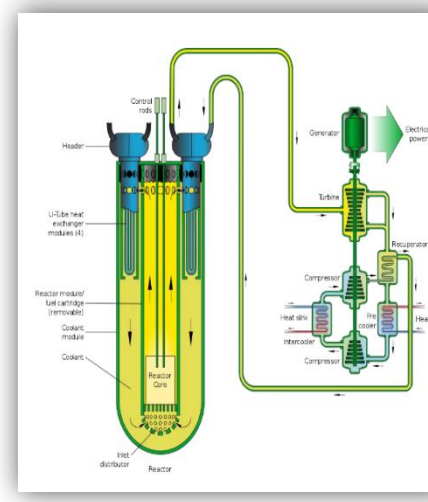
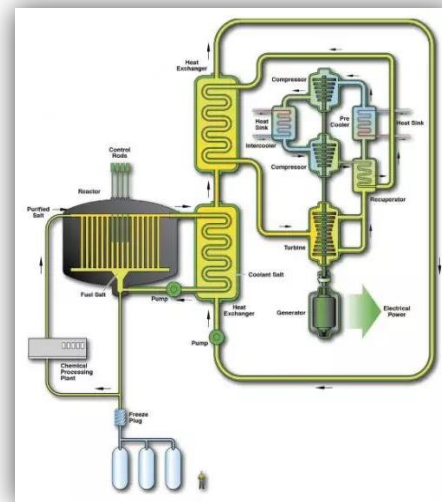
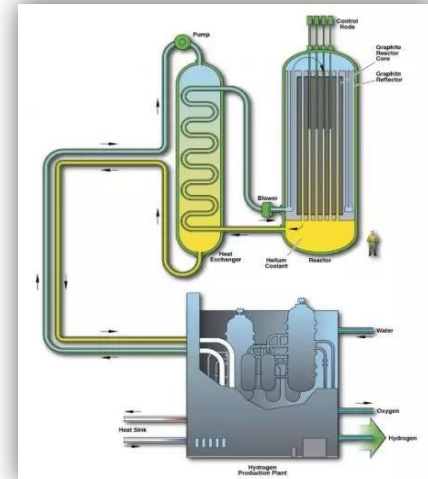
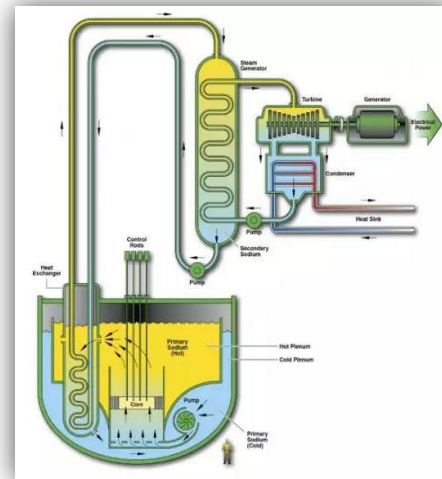
### 强化基础，解决“卡脖子”问题

- 加快核能产业链关键设备、部件及原材料研发，实现核心技术自主可控；
- 开展关键软件、材料、元器件的自主研发和应用，逐步实现国产化替代；
- 开展严重事故预防缓解技术、数字化反应堆技术、核电延寿技术等关键基础研究；
- 推动装备制造业改进和优化制造工艺，对标国际先进水平提升制造质量；
- 推进我国核电标准化体系建设。

## 2. 推动核电创新发展

### 开展四代堆研发

- 围绕“经济性要高、安全性要好、放射性废物要少，防扩散”，开展四代堆工程化研究。
- 开展高温堆、快堆示范工程设计改进与优化，按产业化要求适时开展商业化工程建设；
- 推动铅铋堆、钍基熔盐堆等关键技术、关键设备、关键材料研究，掌握工程化标准设计技术。

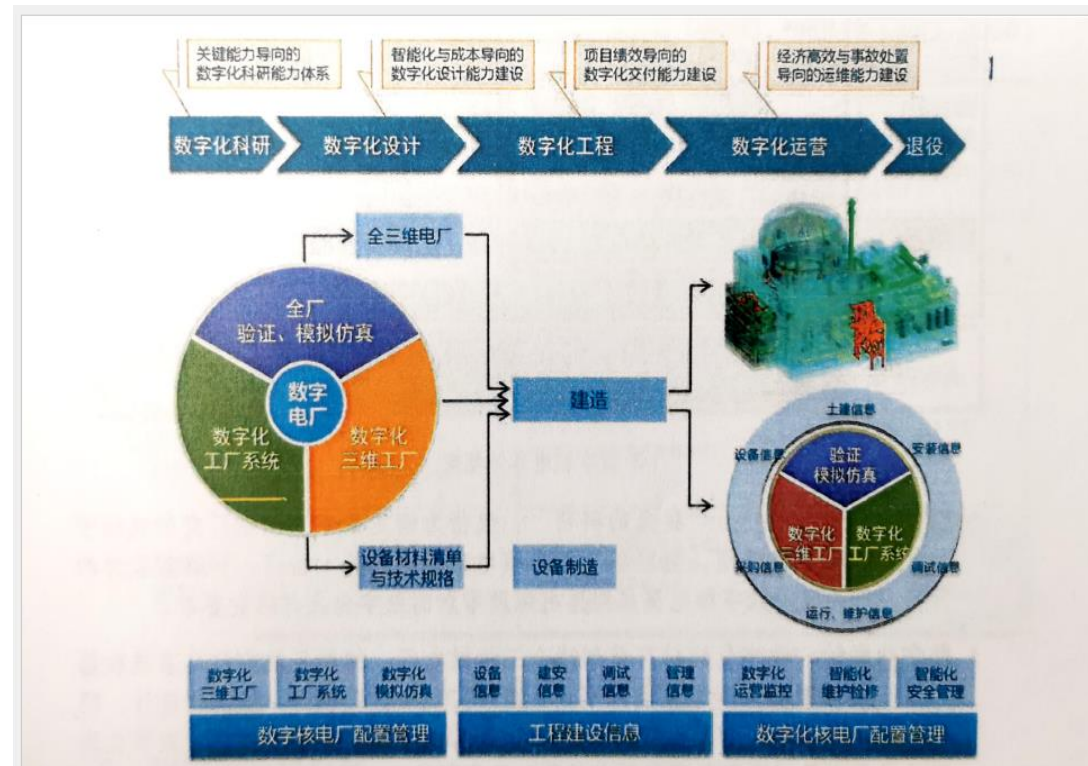




## 2. 推动核电创新发展

### 推进核电产业技术转型升级

推进人工智能、大数据、5G、区块链等信息技术与核电产业在设计、装备制造、工程建设、运行管理、核燃料加工制造、后处理、退役等领域深度融合，促进产业链转型升级。



数字核电概念模型





### 3. 确保安全，持续提高核电经济性

- 核电安全得到持续有效保障。近五年核电机组的80%运行指标处于世界中值水平以上，70%指标处于国际先进值之上。2025年新建核电厂应可实际消除大规模放射性物质释放；2035年核电技术在应对极端自然灾害和严重事故等方面具有更加完善的措施，无需公众撤离，不对生态和环境产生长期影响。
- 在确保核电安全的前提下，围绕电力市场改革导向，从核电产业链各环节统筹考虑，不断改进提升核电经济性，降低成本，实现核电自身安全与经济的协调发展，提高市场竞争力。



## 4. 推进核电上下游产业协调发展

### 建立稳定的天然铀供应保障体系

- 建立天然铀产品储备体系，形成国家储备、企业集团储备和核电企业储备互相衔接、互为支撑的流通使用机制；建立国内铀资源开发、海外铀资源开发、国际铀产品贸易开发的铀资源开发保障体系。
- 加大国内铀资源勘查开发力度，增加铀资源探明储量，按“探采一体化”的要求，加快推进千吨级可地浸砂岩型铀矿生产基地建设；开放铀资源勘探开发领域，建立健全铀矿权流转机制。
- 支持企业海外开发，掌控更多经济可采的铀资源和产品份额。
- 加强深部铀资源预测评价与开采技术攻关，推进数字化铀矿山建设与运行。



## 4. 推进核电上下游产业协调发展

### 提升核燃料供应保障能力

- 面向两个市场，适度超前配套建设核燃料加工生产能力；
- 发挥核燃料加工老基地的作用，“十四五”期间保证核燃料供应；采用多元化投资方式，在东南沿海建设核燃料加工一体化的核燃料园区，2035年前建成适应核电发展和市场需求的核燃料生产和营销体系；
- 掌握铀纯化转化一体化设计技术，完成新一代铀浓缩技术攻关，推进先进核燃料元件技术研发与验证，采用先进信息技术，建立核燃料运输商业物流体系；
- 加强成本管控，逐步促进核燃料价格与市场接轨。

## 4. 推进核电上下游产业协调发展

### 提升核电装备制造水平

- “十四五”期间，保持目前三代核电主设备制造成套产能的总体水平，全面实现核电关键设备的自主研发、设计和制造，设备制造质量稳定性达到国际先进水平；
- 2035年前，逐步提升核电设备智能化制造水平，培育具有全球竞争力的世界一流核电成套装备供应商，设备制造质量稳定性达到国际领先水平。





## 4. 推进核电上下游产业协调发展

### 推进后处理能力建设与放射性废物管理工作

- 按照“湿法处理与干法贮存相结合”原则，统筹布局乏燃料的离堆贮存设施建设，推进公、海、铁联运体系建设。
- 乏燃料后处理与再循环一体化统筹规划，掌握大型后处理及再循环工程自主化设计技术，按照产业化发展要求，开展后处理工程建设与运营。
- 对核电站运行产生的低放固体废物，应按区域处置或集中处置要求，统筹规划处置场能力建设；对乏燃料后处理产生的核废物，应按照国家高、中、低放液态与固态分类，并形成相应处理处置能力。
- 2035年建成高放废物处置实验设施。



## 5. 适应电改要求，培育规范的核电交易市场

- 转变思想观念，树立市场意识；
- 开展并做大做强自身售电业务；
- 降低发电成本，提升市场竞争力；
- 核电企业在电力市场交易规则制定方面应有话语权；
- 建立完善核电碳排放交易市场，支持核电参与碳配额、绿证交易。

中国碳排放交易市场价格

区域市场	2020年4月市场交易价格 (元/t)
北京	85
上海	49
广东	28
天津	19
深圳	19
湖北	25
重庆	35
福建	9
平均价格	34



## 6. 建立和完善法规政策

- 积极推进原子能法、核损害赔偿法、放射性废物管理法、核电管理条例、乏燃料管理条例、核安保条例等立法工作；研究制定核电及配套设施厂址保护制度，积极推进全产业链标准体系研究。
- 建议统一明确核电项目享受可再生能源相应电量消纳政策，确保核电承担基本发电负荷的调度地位始终得到保证。
- 研究完善核电参与电力市场改革政策，明确在运核电机组在还贷期内合理安排交易电量比例，使核电厂具备还本付息的能力。还贷期后可提高参与市场竞价比例，形成良性循环机制。
- 加快建立和完善辅助服务补偿机制，核电企业可通过在电力市场购买调节容量、配套建设和联合运用储能技术等方式，解决运行方面的调峰压力。



核电是清洁低碳、安全高效的优质能源，在我国构建现代能源体系、保护生态环境，应对气候变化、实现碳中和目标，促进科技进步、提高国家综合实力和保障能源安全等方面，发挥着重要作用。推进核电高质量发展是调整能源结构，实现能源革命的重要途径。





谢谢!