

核电设备行业专题报告

核电东风至，扬帆再起航

超配

核心观点

政策：积极有序发展核电。2021年《政府工作报告》中，核电发展方针已由2018年的“稳妥推进核电发展”转为“在确保安全的前提下积极有序发展核电”，这是自福岛核事故以来，政府工作报告中首次使用“积极”一词提及核电发展。同时，十四五规划中也明确表示“积极有序推动沿海核电建设”。

技术：三代技术成熟落地。福岛核事故后，国家要求新建核电项目必须符合三代核电安全标准。目前国内在建机组以华龙一号为主，部分项目采用VVER1200。两种技术均有多台机组成功商运，验证了三代核电技术的安全性和可靠性，具备批量化生产的条件。

能源结构：发展核电是改善能源结构的必然选择。碳中和、碳达峰加速能源结构改善，新能源发电已成趋势，但我国经济处于快速发展中，电力需求大，因此在电力结构改革中需要低碳、稳定的电力来源。核电相比火电具有低碳、清洁优势；相比于光伏、风电，核电技术成熟，无需储能设备即可稳定发电，因此发展核电是改善能源结构的必然选择。

审批加速，预期形成批量化建设趋势。在政策明确+技术成熟+碳中和的三重驱动下，核电审批明显加速，2019-2020年，国家每年核准新机组4台，2021年核准5台新机组。预期未来每年核准6-8台，实现规模化和批量化发展。

市场空间：2025年前核电设备需求超2000亿。按照每年新建6台机组估算，我国每年核电设备市场规模约546亿元，2025年前市场规模约2185亿元。

核废料处理：市场逐渐开启，潜在空间广阔。预计2025年在运机组将产生约1180吨乏燃料，累计13940吨。乏燃料累计生产量超过总贮存量，乏燃料处理成刚需。“十四五”中明确提出要建设中低放废物处置场、乏燃料后处理厂。目前，国内首个200吨乏燃料处理厂2019年开始建设，第二个项目已基本完成招标。

四代核电：核电技术未来发展趋势。第四代核电具有更安全、更经济、更好的防核扩散性及可持续性的特点，各国均在布局，中国在四代核电技术上取得领先地位，先后建成石岛湾高温气冷堆、甘肃钍基熔盐堆。

风险提示：1、世界范围内发生核电事故；2、核电发展政策变动；3、核电设备需求不及预期；4、核电项目建设风险；5、核燃料供应风险；6、核废料处理滞后风险；7、疫情导致核电建设延期；8、储能技术实现突破。

投资建议：国家发展核电态度积极明确，核电景气持续向好，批量化建设+核废物后处理打开核电成长空间。我们看好核电细分领域市占率高、核电业务占比高的公司，设备环节重点关注：江苏神通、应流股份、中密控股。

重点公司盈利预测及投资评级

公司代码	公司名称	投资评级	昨收盘(元)	总市值(百万元)	EPS		PE	
					2022E	2023E	2022E	2023E
002438	江苏神通	买入	15.42	7826.23	0.81	0.99	19.13	15.60
300470	中密控股	买入	37.66	7839.73	1.77	2.12	21.26	17.72
603308	应流股份	买入	14.65	10008.10	0.59	0.67	24.90	22.02

资料来源：Wind、国信证券经济研究所预测

行业研究·行业专题

机械设备·通用设备

超配·维持评级

证券分析师：吴双

0755-81981362

wushuang2@guosen.com.cn

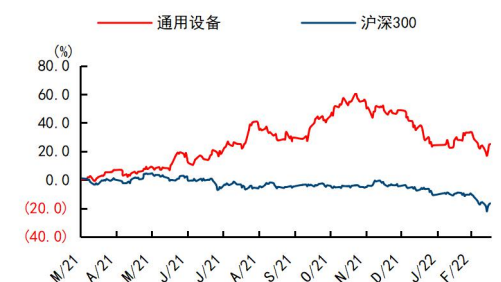
S0980519120001

联系人：年亚颂

0755-81981159

nianyasong@guosen.com.cn

市场走势



资料来源：Wind、国信证券经济研究所整理

相关研究报告

- 《核电设备行业专题报告：核电东风起，架势欲归来》——2018-07-31
- 《行业重大事件快评：首台AP1000机组三门核电获准装料，核电重启可期》——2018-05-02
- 《换热器行业专题研究：螺旋缠绕管式换热器大有作为》——2014-08-08
- 《机床行业月报：机床行业短期存在回调压力》——2010-07-27
- 《工业机械月报：行业景气仍将维持上行趋势》——2010-04-27

内容目录

投资摘要.....	6
核电研究框架及复盘.....	7
走进核电.....	9
核能发电原理及核反应堆简介.....	9
全球核电发展历史.....	12
中国核电发展历史.....	15
国内核电发展现状：在运机组 53 台，在建机组 19 台.....	18
核电转向积极有序发展，预期形成批量化建设趋势.....	22
核电预期形成批量化建设趋势：华龙一号成为首选堆型.....	22
核电低碳、清洁优势显著，核电发电量绝对值、占比较低.....	22
政策积极、技术成熟，批量化建设条件已备.....	24
核电沿海待建机组超 70 台，可满足近 10 年建设需求.....	26
核电产业链分析：高壁垒的垄断性产业格局.....	27
核电产业链概况.....	27
核电站建设流程概况.....	27
预计核电市场规模 2025 年前超 4000 亿元.....	29
核电设计：中核、中广核占领主要市场.....	30
设备制造：国企垄断为主，细分领域民企快速成长.....	31
土建施工与设备安装：核岛中国核建独大，常规岛多强并存.....	33
核燃料供应：中核一家独大.....	34
核电站运营：中广核、中核二分天下.....	37
核电废物后处理市场打开新增长空间.....	37
核电发展趋势：核废料后处理市场广阔，积极发展四代核技术、小型堆、核能综合利用....	43
趋势一：核废料贮存、处理市场空间广阔.....	43
趋势二：第四代核电指明发展方向，中国高温气冷堆已正式商运.....	43
趋势三：多用途模块式小型堆建设已拉开序幕.....	45
趋势四：政策支持+技术进步推动核能综合利用.....	48
投资策略：看好核电设备细分领域的龙头设备企业.....	51
江苏神通：核电蝶阀、球阀垄断，乏燃料处理市场打开新空间.....	51
应流股份：核电装备、两机叶片双轮驱动公司持续成长.....	53
中密控股：核电国产替代加速助力公司业绩增长.....	54
风险提示.....	57
免责声明.....	59

图表目录

图 1: 核电行业分析框架.....	7
图 2: 核电指数复盘.....	8
图 3: 核裂变原理.....	9
图 4: 核电站发电原理.....	10
图 5: 各堆型冷却剂和慢化剂对应情况.....	10
图 6: 全球核电堆型概况.....	11
图 7: 1998-2021 全球核电总装机容量.....	13
图 8: 核电发展历史.....	14
图 9: 历年国内新核准核电机组数.....	17
图 10: 国内核电技术演变历程.....	18
图 11: 历年在运、在建和新建机组情况.....	18
图 12: 国内在运、在建机组示意图.....	19
图 13: 中国核电发电占比全球靠后.....	24
图 14: 2021 年核电发电量占全国发电总量约 5.02%.....	24
图 15: 全国全社会用电量 2021 年同比增长 10.30%.....	24
图 16: 核电沿海待建机组超 70 台.....	26
图 17: 核电产业链及主要公司.....	27
图 18: 核电建设整体流程.....	28
图 19: 核电站建设关键里程碑.....	29
图 20: 核电投资中设备投资占一半.....	29
图 21: 设备投资中核岛设备占 52%.....	29
图 22: 核电产业链环节的毛利率比较.....	30
图 23: 核电设备毛利率比较.....	30
图 24: 核电站主设备及主要供应商.....	31
图 25: 核岛投资成本占比.....	32
图 26: 常规岛投资成本占比.....	32
图 27: 核燃料循环.....	34
图 28: 核燃料制造.....	35
图 29: 世界铀矿资源分布.....	36
图 30: 已运营核电机组市场份额.....	37
图 31: 在建核电机组市场份额.....	37
图 32: 中国核电营业收入持续增长.....	38
图 33: 中国广核营业收入持续增长.....	38
图 34: 中国核电、华能国际折旧占营业成本比例.....	38
图 35: 中国核电经营性现金流充沛.....	37
图 36: 中国广核经营性现金流充沛.....	37
图 37: 核电厂中低废处理.....	38

图 38: 闭式核燃料循环.....	39
图 39: 截止 2022 年 2 月, 15 台机组有乏燃料离堆贮存需求.....	40
图 40: 核电在运机组装机量预测 (万千瓦)	40
图 41: 乏燃料年产量, 累计量递增.....	40
图 42: 乏燃料新增外运量、累计外运量.....	41
图 43: 乏燃料储存预计 2025 年突破临界点.....	41
图 44: 全球首台海上浮动核电站——“罗蒙诺索夫院士”发展历程.....	46
图 45: 冷却剂系统示意图.....	47
图 46: 非动能安全系统配置示意图.....	47
图 47: 核电供热原理图.....	49
图 48: 江苏神通主要产品.....	51
图 49: 2020 公司主营构成 (按行业)	52
图 50: 2021Q1-Q3 公司营业收入同比增长+32.33%.....	52
图 51: 公司归母净利润稳定增长.....	52
图 52: 应流股份主要产品.....	53
图 53: 2020 公司主营构成 (按行业)	53
图 54: 营业收入增速有所恢复.....	54
图 55: 公司归母净利润增速有所下滑.....	54
图 56: 中密控股主要产品.....	55
图 57: 2020 公司主营构成 (按行业)	55
图 58: 2021 前三季度营业收入大幅增长.....	56
图 59: 公司归母净利润增速回升.....	56
表 1: 核电产业链主要上市公司概览.....	8
表 2: 全球核电站使用的主要堆型.....	11
表 3: 核电技术发展历程.....	15
表 4: 截止至 2022 年 02 月在运机组情况.....	19
表 5: 截止至 2022 年 02 月在建机组情况.....	21
表 6: 核电与其他能源对比.....	23
表 7: 2020 年不同发电来源度电成本对比 (元/KWh)	23
表 8: 核电政策态度更为积极明确, 稳妥推进核电发展.....	25
表 9: 中国核动力设计研究院承担核电工程设计任务.....	30
表 10: 核电设备细分设备市场规模.....	32
表 11: 核电工程建设公司承建的主要项目.....	33
表 12: 我国天然铀供应预测 (单位: 吨)	36
表 13: 中国核燃料有限公司主要业务介绍.....	36
表 14: 中国核电、中国广核 2022-2027 年核电上网电量预测.....	37
表 15: 核废料分类.....	37
表 16: 中低放处置厂介绍.....	38
表 17: 第四代核电技术分类.....	44

表 18: 第四代核能系统六种推荐堆型.....	45
表 19: 国家政策助推小型堆发展.....	45
表 20: 核电大堆和小堆比较.....	47
表 21: 国家政策推动核能综合利用.....	48

投资摘要

技术成熟+政策明确，核电预期形成批量化建设趋势。1) 发展核电是改善我国能源结构的必然选择；2) 三代核电技术成熟；3) 政策态度更为积极、明确，关键节点突破；4) 舆论负面因素排清；5) 电力需求持续增长。综合以上因素，核电转向积极有序发展阶段，有望形成稳定的批量化建设趋势。

核电产业链迎来布局机会，2025年前年均核电设备需求约546亿元。根据中国核能行业协会发布的《中国核能发展与展望(2021)》预测，我国三代核电按照每年核准6-8台的节奏，实现规模化和批量化发展。按照每年核准6台机组测算，预计每年核电设备市场规模约546亿元，2025年前核电设备市场规模约2185亿元。

核电产业链主要分为核电站建设、核电站运营、核燃料供应以及核废料处理等环节。其中核电站建设流程主要包括核电设计、核电设备制造、土建施工与设备安装、调试等流程。核电设计环节主要由中核、中广核占据市场；设备制造环节以国企垄断为主，民营企业主要参与细分市场；土建、设备安装环节，核岛中国核建独大，常规岛多强并存；核燃料供应中核一家独大；核电运营呈现中核、中广核双寡头格局，国电投、华能也有一定市场份额；核废料后处理环节，目前由中核主导建设，多家民企参与设备供应，其中应流股份、江苏神通参与相关设备供应，日月股份、通裕重工布局核废料运输。

核电设备呈现高垄断稳定竞争格局：大国企主导弹性小，小民企细分领域龙头弹性大。技术壁垒+准入资质+资本投入决定核电极高的行业壁垒，呈现垄断竞争特点。**主设备领域格局稳定，国企市占率超80%。**核电主设备主要包括反应堆压力容器、堆内构件、控制棒及驱动机构、稳压器、蒸汽发生器、汽轮发电机、主冷却剂泵等，主要参与者有上海电气、东方电气、哈电集团和中国一重。**民营企业占据部分细分领域主导地位。**其中，应流股份在主泵泵壳取得主导地位，江苏神通、纽威股份、中核科技等企业在阀门市场取得主导地位。

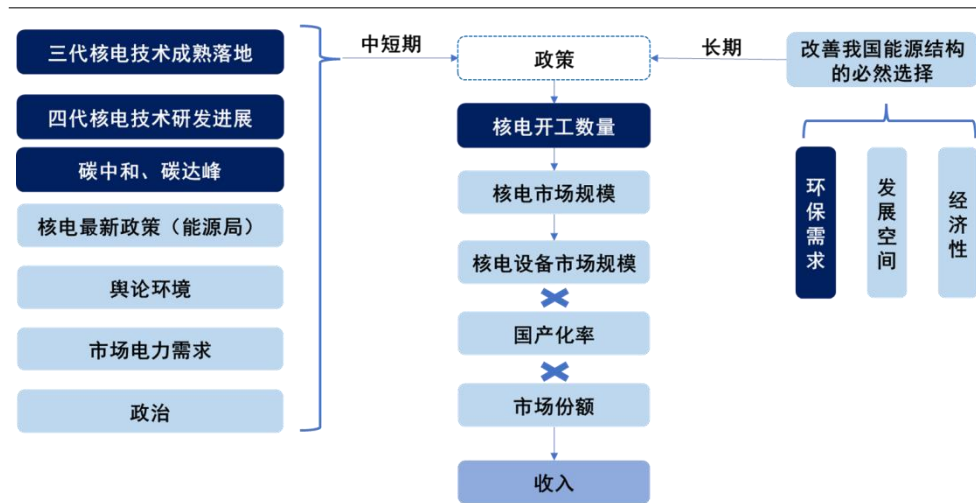
核废料后处理序幕已开，打开千亿增量市场。核电经历近30年发展，预计2025年在运机组将产生约1180吨乏燃料，累计13940吨；当年新增需离堆贮存的乏燃料约560吨，累计4160吨。**乏燃料累计生产量超过总贮存量，突破临界状态，乏燃料处理成刚需。**“十四五”中明确提出要建设中低放废物处置场、乏燃料后处理厂。从乏燃料后处理厂的规划来看，目前国内首个200吨乏燃料处理厂（单厂投资250-300亿元）正在建设，预计2025年运行；第二个200吨乏燃料处理厂项目已完成招投标；此外，中核集团拟与法国阿海珐集团签署大型商业后处理-再循环工程项目，建成后将具备800吨的乏燃料年处理能力和3000吨的离堆贮存能力。整个核电后处理厂的投资估计超千亿元。

投资建议：国家发展核电态度积极明确，核电景气持续向好，批量化建设+核废物后处理打开核电成长空间。我们看好核电细分领域市占率高、核电业务占比高的公司，设备环节重点关注：江苏神通、应流股份、中密控股。

核电研究框架及复盘

核电是政策把控行业，设备需求取决于新开工核电站的数量和国产化率。核电具有技术密集、资金投入大等特点，同时涉及安全和公众舆论，因此核电是一个由政策把控的行业，国家通过发放路条控制新建核电站的审批和开工。核电设备的需求则取决于核电开工数量及国产化率。其中核电开工数量主要受到国家政策的影响，而国产化率则受到可批量化建设的核电技术路线影响。从中短期来看，我国核电市场发展主要受到国产三代、四代核电技术的成熟性以及“碳中和”的驱动；长期来看，核电发展主要受到国内能源结构改善的需求驱动。

图1：核电行业分析框架



资料来源：中国核能行业协会，国信证券经济研究所整理

复盘过去十年核电指数，可分为四个阶段：

- 1) 2011–2015 年：福岛核事故后，国内核电进行了历时一年半的安全检查，虽然得出安全有保障的结论，但不上马新的核电项目，核电审批速度放缓。同时德国、意大利、瑞士等提出了“弃核”的主张，公众对于核电安全性的担忧有所增加。新机组审批速度放缓+舆论压力导致核电行业发展放缓，核电指数持续下行；
- 2) 2015 年：“十二五”规划收官之年，核能协会、国家能源局等相关人员均在不同场合透漏年内将有 6–8 台核电机组开工建设，随后 8 台新机组被审批，核电重启预期升温，核电指数大幅上涨；
- 3) 2016–2018 年：2015 年审批 8 台机组之后，虽然国家政策多次提到过核电建设目标，但并无新核电机组审批，主要原因，一方面是福岛事故后公众舆论压力仍然存在；另一方面，福岛核事故后，新机组要求具备三代安全性，2018 年之前国内三代核电并无商运投产案例，因此整体审批较为谨慎，核电指数走弱。
- 4) 2019 至今：随着三代核电项目落地，2019–2020 年国家每年核准新机组 4 台，2021 年国家核准 5 台机组，审批和开工节奏明显加快，同时在“碳达峰”、“碳中和”等大力发展绿电背景下，核电指数回升。

图2: 核电指数复盘



资料来源: 中国核能行业协会, 国信证券经济研究所整理

表1: 核电产业链主要上市公司概览

产业链	公司名称	核电业务占比 (2020)	市值 (亿元)	归母净利润 (2020, 亿元)	核电相关产品
核电设备	上海电气	未公布	571.22	37.58	核岛主设备、燃料输送设备、汽轮机、发电机、辅机、常规泵等。
	东方电气	27.05% (包含风电)	417.03	18.62	反应堆冷却剂泵、热交换器、汽轮机、发电机、汽水分离再热器等。
	中国一重	5.55%	211.22	1.30	核反应堆压力容器、稳压器及蒸发器、核电锻件等。
	久立特材	7.75% (电力设备)	143.94	7.72	核电蒸汽发生器 U 型管、核电管道。
	中核科技	5.67%	48.56	1.05	核\非核级阀门, 主要为闸阀。
	江苏神通	21.79%	79.18	2.16	核\非核级蝶阀、球阀、核级法兰和锻件、乏燃料后处理设备阀门。
	纽威股份	未公布	64.73	5.28	核电阀门, 包括截止阀、止回阀、安全阀等。
	应流股份	未公布	100.83	2.02	主泵泵壳、乏燃料格架、金属保温层。
	南风股份	22.66%	33.65	1.49	核电通风系统设备、核电站用不锈钢管、锻件等。
	中密控股	未公布	78.04	2.11	核电密封件, 主要为泵密封。
核电建设	日月股份	未公布	264.06	9.79	乏燃料转运储存罐等。
	佳电股份	未公布	52.85	4.08	四代核电主氮风、核电电机等。
核电运营	中国核建	14.28%	205.27	13.60	核电工程建设。
	中国广核	78.65%	1270.07	95.62	核电运营。
	中国核电	93.57%	1477.68	59.95	核电运营。

资料来源: Wind, 国信证券经济研究所整理

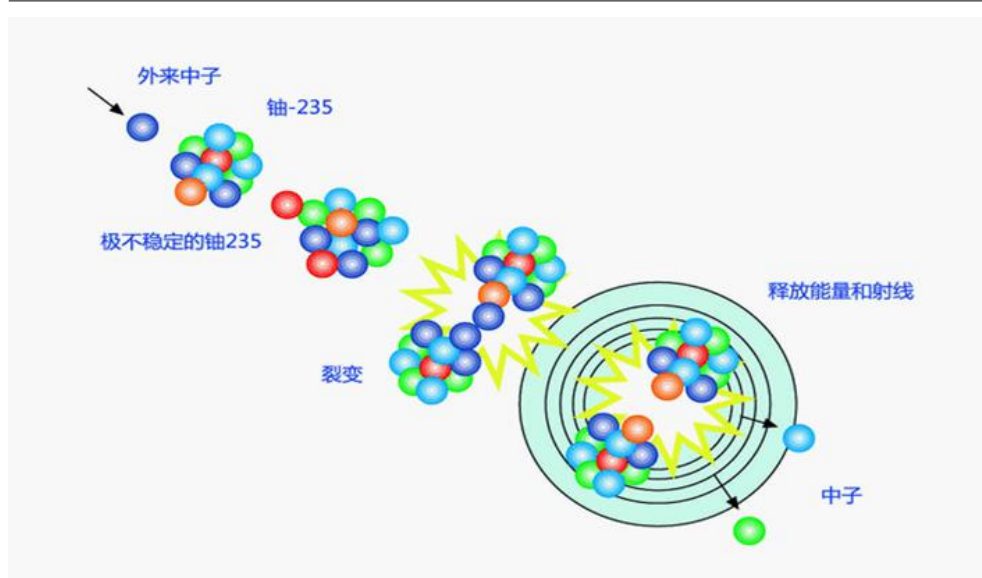
走进核电

核能发电原理及核反应堆简介

核裂变能通过链式反应释放。核裂变，又称核分裂，是指由重的原子核（主要是指铀核或钚核）分裂成两个或多个质量较小的原子的一种核反应形式。原子弹或核能发电厂的能量来源就是核裂变。其中铀裂变在核电厂最常见，当热中子轰击铀-235 原子后，一个铀核吸收了一个中子可以分裂成两个较轻的原子核，在这个过程中质量发生亏损，因而放出很大的能量，并产生两个或三个新的中子，新中子再去撞击其它铀-235 原子，从而形成链式反应。

核电为受控的裂变能。链式裂变反应释放的核能可以进行人为控制，通过在铀的周围放一些强烈吸收中子的“中子毒物”（硼、银、镉、镅等），使一部分中子还没有被铀核吸收引起裂变时，就先被“中子毒物”吸收，这样就可以控制中子的产生速度，使得核能缓慢地释放出来。核电站就是通过插入和提出中子吸收控制棒实现对核反应堆中核能释放速度的控制。

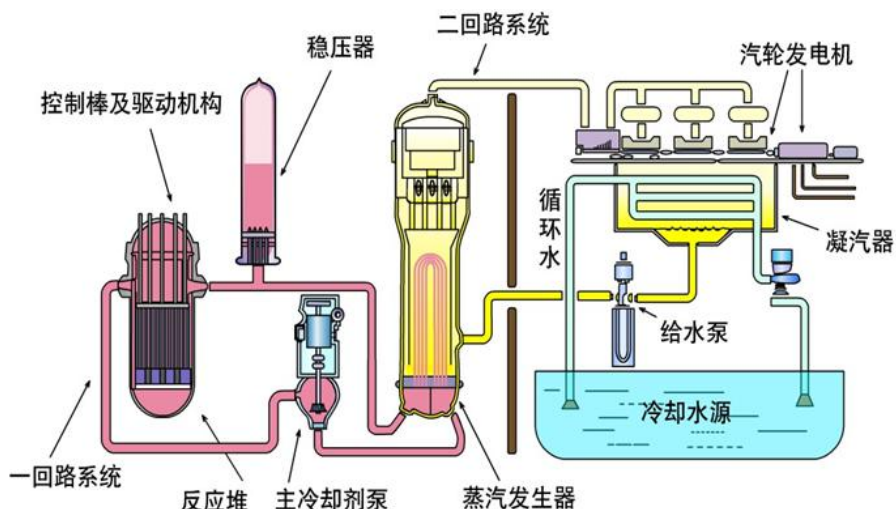
图3: 核裂变原理



资料来源：红沿河核电官网，国信证券经济研究所整理

核电站通过核能→热能→机械能→电能的能量转换路径实现发电。核能发电基本原理是核裂变产生能量加热水生成蒸汽，将核能转变成热能；蒸汽压力推动汽轮机旋转，热能转变为机械能；然后汽轮机带动发电机旋转发电，将机械能转变成电能。以当前的主流压水堆核电站为例，其能量转换借助于三个回路来实现。在一回路中，反应堆冷却剂（通常为水）在主泵的驱动下进入反应堆，流经堆芯后带走核燃料裂变产能的能量，进入蒸汽发生器将热量传递给二回路的水，然后再流回到主泵，循环往复；在二回路中，二回路水通过热交换被一回路的水加热生成蒸汽，蒸汽再去驱动汽轮机，带动与汽轮机同轴的发电机发电，做功后的剩余蒸汽再经三回路冷却为液态水后，再次进入蒸汽发生器循环；在三回路中，三回路冷却水通过凝汽器冷却二回路做功后的蒸汽，带走剩余的弃热。

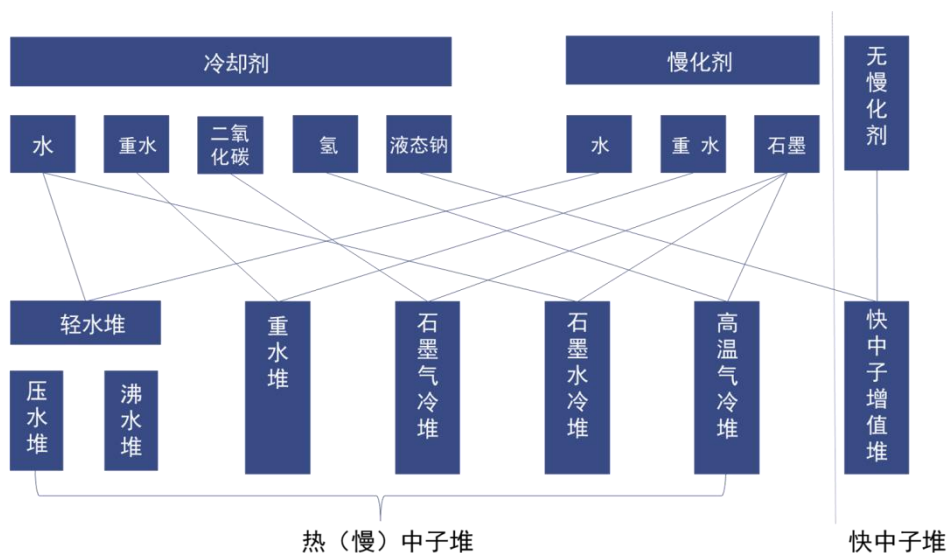
图4: 核电站发电原理



资料来源：中国核电信息网，国信证券经济研究所整理

商用核电反应堆根据反应堆冷却剂/慢化剂和中子能分类。按照冷却剂/慢化剂的不同，反应堆一般可分为轻水堆（包括压水堆和沸水堆等）、重水堆及气冷堆。按照所用的中子能量，反应堆一般可分为慢（热）中子堆或者快中子堆。

图5: 各堆型冷却剂和慢化剂对应情况



资料来源：中国核电招股说明书，国信证券经济研究所整理

压水堆是目前世界上最普遍的商用堆型。目前世界上核电站采用的反应堆有压水堆、沸水堆、重水堆、石墨气冷堆、石墨水冷堆以及快中子增殖堆等，但比较广泛使用的是压水堆。压水堆以普通水作冷却剂和慢化剂，是目前世界上最普遍的商用堆型。

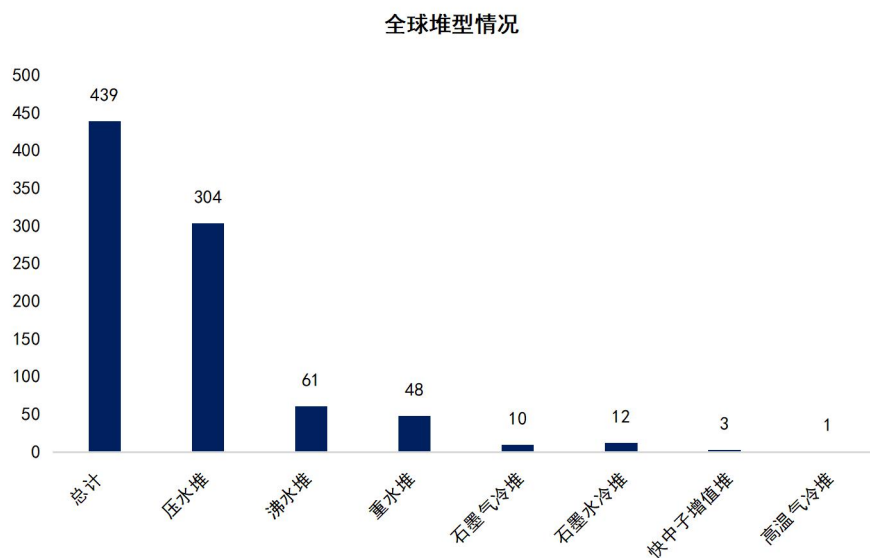
表2: 全球核电站使用的主要堆型

堆型名称	燃料	冷却剂	慢化剂	原理及技术特点
压水堆 (PWR)	浓缩 UO ₂	水	水	把轻水 (普通水) 加压后能降低沸点, 加压水在 325°C 的高温下仍能保持液体状态。PWR 在其一回路系统中使用加压水吸收热量, 之后在二回路系统中降低气压释放热量。
沸水堆 (BWR)	浓缩 UO ₂	水	水	沸腾轻水在反应堆压力容器内直接产生饱和蒸汽的动力堆。沸水堆与压水堆同属轻水堆, 都具有结构紧凑、安全可靠、建造费用低和负荷跟随能力强等优点。
重水堆 (PHWR)	天然 UO ₂	重水	重水	重水堆能高效、充分的利用核燃料, 但体积比轻水堆大, 建造费用高, 重水昂贵, 发电成本比较高。
石墨气冷堆 (GCR)	天然 UO ₂	CO ₂ 或氦气	石墨	用石墨慢化, 二氧化碳或氦气冷却的反应堆。近期的研究集中在氦气冷却的高温气冷堆 (HTGR) 上。
石墨水冷堆 (LWGR)	浓缩 UO ₂	水	石墨	堆芯和循环回路庞大, 难以设置安全屏障, 运行比较复杂。
快中子增殖堆 (FBR)	浓缩 UO ₂ 、PUO ₂ & UO ₂	液态钠	无	由快中子引起链式裂变反应所释放出来的热能转换为电能。快堆在反应中既消耗裂变材料, 又生产新裂变材料, 而且所产可多于所耗, 能实现核裂变材料的增殖。

资料来源: 国家能源局、中国核能行业协会, 国信证券经济研究所整理

全球范围内大多数用于发电的在运及在建核反应堆采用压水堆技术。根据国际原子能机构的统计, 截至 2022 年 02 月 28 日, 全球在运核电反应堆共 439 座, 其中采用压水反应堆技术的共 304 座, 占比达到 69.3%, 相较于 2017 年 (65.2%), 压水堆核电站占比提升约 4 个 pct。

图 6: 全球核电堆型概况



资料来源: 国际原子能机构, 国信证券经济研究所整理

全球核电发展历史

自上世纪 50 年代以来，核电经历了半个多世纪的历程。按照时间顺序，全球核电发展历史大体上可以分为起步阶段、迅速发展阶段、停滞阶段、复苏阶段及谨慎发展阶段等五个阶段。

起步阶段（1946 年-1965 年）

第二次世界大战结束以后，美国政府在继续发展核武器、核潜艇、核航母的同时，开始了核能利用的军转民工作。1957-1960 年，美国分别建成了 60MW 希平港压水堆核电机组和 200MW 德累斯登沸水堆核电机组，成为日后核电发展的主要类型。前苏联在 1954 年建成奥布宁斯克实验性核电机组（RBMK）。英国、法国分别于 1959 年和 1962 年建成天然铀石墨气冷堆核电厂。加拿大在 1962 年建成利用天然铀发电的重水堆原型核电机组。这一阶段世界核电的发展百花齐放，不同类型核电机组的成功运行，为下阶段核电的快速发展打下坚实的基础。在此期间，核电站的建设处于一个探索试验的阶段，世界共有 38 个“第一代”机组投入运行，总装机 12.23GWe，最大单机容量 60.8 万 KW。

迅速发展阶段（1969 年-1980 年）

上世纪六十年代，西方国家进入经济快速增长阶段，对能源和电力供应的需求急剧上升。1973 年和 1979 年的两次世界性石油危机造成石油价格的大幅上涨，核能发电作为一种经济、安全的清洁能源受到许多国家的大力追捧。以美国为例，1966-1973 年签约的核电建造合同的规模就达到 170 GWe。与此同时，美国的核电供应商西屋电气公司（WH）和通用电气公司（GE）大规模向西欧和亚洲出口轻水堆设备和技术，推动法国、日本等国通过引进美国技术逐步建立起本国的核电工业体系。从 1974 年到 1983 年，法国先后建成 34 座 900 MW 及 20 座 1300 MW 压水堆机组，成为全球核电比例最高（75%以上）的国家。日本在 1970-1980 年间建成 21 台核电机组，成为世界第三大核电国家。在此期间，世界共有 242 个核电机组投入运行，全世界核电机组的总装机容量达到 133GWe。1966 年到 1980 年核电装机容量的年增长率达到 26%。

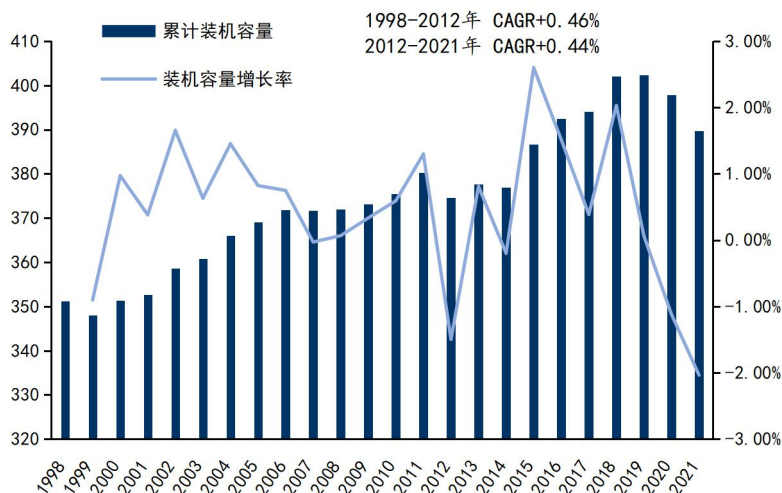
滞缓发展阶段（1981 年-2000 年）

由于 1979 年的美国三里岛核电站事故以及 1986 年的苏联切尔诺贝利核泄漏，全球核电发展迅速降温。在此阶段，人们开始重新评估核电的安全性和经济性。为确保核电站的安全，世界各国加强了安全设施，制定了更严格的审批制度。

上世纪八十年代以后，西方主要国家经济发展进入平稳期，由于产业结构调整及节能措施大量采用，全社会电力需求大幅度下降，许多已经计划的电力建设项目被搁置或者取消。1979 年美国发生三里岛核事故后，各国普遍加强了核安全监管，提高了核电项目审管要求，致使核电建设工期拉长，造价提高。加之发电成本相对低廉的天然气兴起，高造价的核电项目成了停建和取消的重点对象。据国际能源机构统计，在 1990 年至 2004 年间，全球核电总装机容量年增长率由此前的 17% 降至 2%。以美国为例，八十年代初就有 108 座核电机组（共计 110 GWe）的订货合同被取消，从 1979 年到 2009 年的 30 年时间里，没有一个核电新项目开工，核电建设进入滞缓发展阶段。

需要指出的是，即使在滞缓发展阶段，核电发展也没有完全停止。法国、韩国仍然坚持本国的核电发展并掌握了核电技术，迅速成长为世界核电大国。中国的核电建设也在上世纪八十年代起步。

图7: 1998-2021 全球核电总装机容量



资料来源: 国际原子能机构, 国信证券经济研究所整理

上世纪八十年代末, 为了振兴核电市场, 美国和欧洲的核电供应商与相关机构一起先后推出了“先进轻水堆用户要求”文件 (URD, utility requirements document) 和“欧洲用户对轻水堆核电站的要求” (EUR, European utility requirements document), 提出了加强预防与缓解严重事故措施、改善人因工程等一系列新要求, 以进一步提高核电厂的安全可靠性及经济性。国际上把满足 URD、EUR 要求的核电技术称为第三代核电技术, 而把在此前建设的、以及继续用原有技术建造的核电站称为第二代核电技术核电站。

复苏阶段 (2001 年-2011 年)

进入 21 世纪, 人们对温室气体排放等环境危机越来越关注, 核电作为清洁能源的优势重新显现。同时, 安全可靠更高的第三代核电技术的研发取得重大进展。作为唯一可大规模替代化石燃料的清洁能源, 核电重新受到世界许多国家的青睐, 世界核电的发展开始进入复苏期, 世界各国制定了积极的核电发展规划。

2001 年 5 月 17 日, 美国总统布什颁布新的核能政策, “把扩大核能作为国家能源政策的重要组成部分”, 并提出鼓励和促进核能发展的具体措施。日本、韩国、英国等许多国家制定或修订本国中长期能源政策, 把核电作为本国重要的基础能源 (日本) 或电力工业的主要支柱 (韩国)。2007 年以后, 采用第三代核电技术 EPR (由法国 AREVA 开发) 的奥尔基洛托 3 号机组、弗拉芒维尔 3 号机组分别在芬兰和法国开建, 中国、印度、俄罗斯以及新兴经济体国家的一批核电新项目相继开工或者获得批准, 世界核电迎来了新的发展期。2010 年当年新开工的核电机组数量达到 16 台。

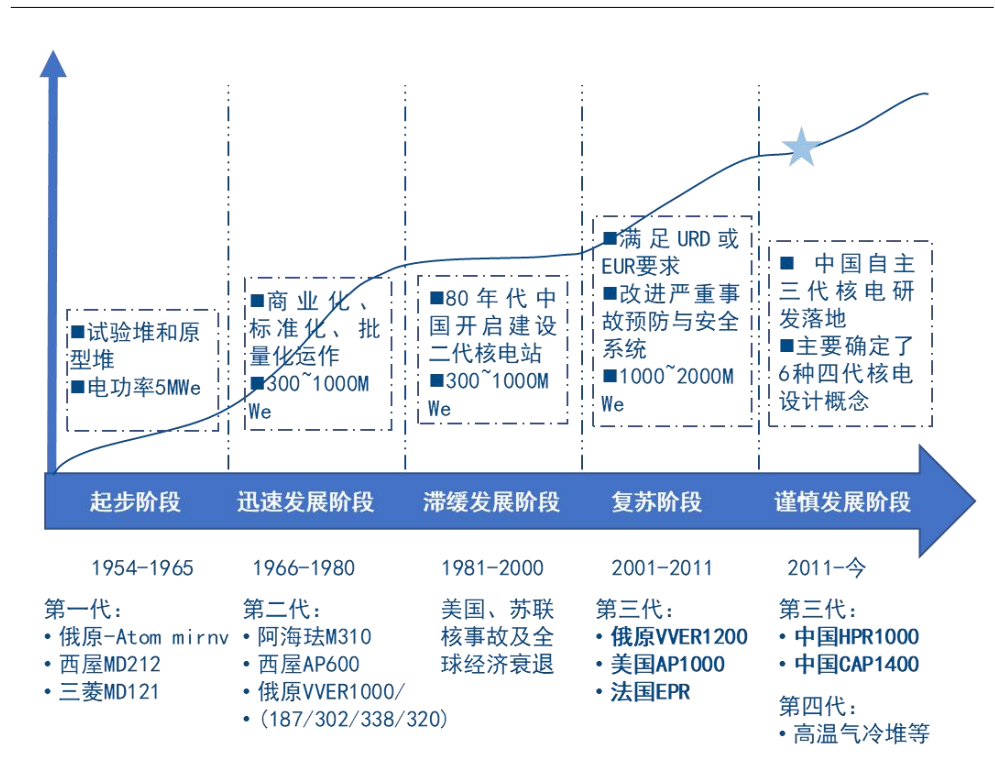
谨慎发展阶段 (2011 年至今)

2011 年 3 月发生的日本福岛核事故给刚刚复苏的世界核电造成巨大冲击。在事故后的一段时间里, 对核电安全的不信任影响和左右了公众舆论, 甚至影响了部分国家政府的决策, 各国政府对核电有了差异化的态度。德国、意大利、瑞士等提出了“弃核”的主张, 日本也一度提出“零核电”的主张。但是, 在经历了短暂

低迷后，包括日本在内的世界大多数国家仍然认为，在应对人口增长、电力需求增加、气候变化等复杂而艰难的问题面前，核能仍然是解决能源安全的重要选项之一。对经济快速发展的国家而言，核电是不可或缺的选择。2016年底，世界能源理事会（WEC）发布第24版《世界能源报告》，报告提到包括中国、韩国、印度、俄罗斯、美国等国家均有多台核电机组在建，许多国家政府依然将核电视为能源结构的重要组成部分。日本近年来核电逐步重启，美、法、英、俄等大国继续坚持发展核电的方针，沙特阿拉伯、韩国、加拿大及印度等国仍坚持发展核能的政策；中国自福岛核事故后进行了历时一年半的安全检查，得出安全有保障的结论，但不上马新的核电项目。2014年8月，中国自主研发的华龙一号技术方案通过国家权威评审，2015年国务院决定核准华龙一号示范机组，当年审批通过了8台核电机组。但在2016-2018年期间，未审批任何新项目。2019年，中国审批通过4台核电新机组（太平岭核电一期、漳州核电一期），中国核电开始复苏。但从全球核电装机容量增速来看，核电发展仍较为谨慎。

福岛核事故减缓全球核电发展，但核电发展趋势仍然不变。核电受全球不断增长的电力需求、不断加强的环保意识及化石燃料价格波动所驱动。国际能源界许多权威组织的研究结果一致认为，福岛核事故使全球核电发展速度放慢，但核电的发展趋势没有逆转，发展中国家已经成为未来核电发展的主要市场，**亚洲成为全球核电发展最快的地区。**

图8: 核电发展历史



资料来源：中国核电招股说明书，国信证券经济研究所整理

从核电站技术演变来看，主要可划分四代核电技术。其中，第一代是实验性的核电站，目前已经基本全部退役；第二代是以压水堆/沸水堆为主标准化、系列化和批量化建设的商业堆，是目前在运机组的主力；第三代是安全性更高的核电站，是目前在建机组的主力，处于加速推广期；第四代核电站强化了防止核扩散等方

面的要求，在安全性和经济性将更加优越，目前全球第四代核能首个商业化示范项目——华能石岛湾高温气冷堆核电站已商运；第一座商业化运营的钍基熔盐堆已完成安装，即将试运行。

表3：核电技术发展历程

技术类别	起始时间	主要特点	主要堆型
第一代核电技术	20世纪50年代至60年代中期	多为早期原型机，使用天然铀燃料和石墨慢化剂。证明了核能发电的技术可行性，具有研究探索的试验原型堆性质。设计上比较粗糙，结构松散，尽管机组发电容量不大，一般在30万千瓦之内，但体积较大。且在设计中没有系统、规范、科学的安全标准作为指导和准则，因而存在许多安全隐患，发电成本也较高。	美国希平港核电站、德累斯顿核电站、英国卡德霍尔生产发电两用的石墨气冷堆核电厂、前苏联APS-1压力管式石墨水冷堆核电站、加拿大NPD天然铀重水堆核电站等
第二代核电技术	20世纪60年代至90年代	是较为成熟的商业化反应堆，使用浓缩铀燃料，以水作为冷却剂和慢化剂，其堆芯熔化概率和大规模释放放射性物质概率分别为10 ⁻⁴ 和10 ⁻⁵ 量级。反应堆寿命约40年。在第一代核技术的基础上，它实现了商业化、标准化等，单机组的功率水平在第一代核电技术基础上大幅提高，达到百万千瓦级。目前全世界在运核电机组大多数使用第二代技术或其改进型。	压水堆(PWR)、沸水堆(BWR)、加压重水堆(PHWR)、石墨气冷堆(GCR)、及石墨水冷堆(LWGR)等
第三代核电技术	20世纪90年代至今	第三代核电技术指满足美国“先进轻水堆型用户要求”(URD)和“欧洲用户对轻水堆型核电站的要求”(EUR)的压水堆型技术核电机组，是具有更高安全性、更高功率的新一代先进核电站。其堆芯熔化概率和大规模释放放射性物质概率分别为10 ⁻⁷ 和10 ⁻⁸ 量级。反应堆寿命约60年。	先进沸水堆(ABWR)、非能动先进压水堆(AP600/AP1000)、欧洲压水堆(EPR)及华龙一号等
第四代核电技术	21世纪	第四代核电技术的目标是满足安全、经济、可持续发展、极少的废物生成、燃料增殖的风险低、防止核扩散等基本需求。预计将有封闭的核燃料产业链，提高核燃料使用效率，或将使用钍元素作为燃料，显著降低核废料半衰期，提高核能使用的安全性。	高温气冷堆，熔盐堆，钠冷快堆

资料来源：中广核电力招股说明书，国信证券经济研究所整理

中国核电发展历史

我国核电起步晚，但是发展快，目前已掌握三代核电技术，并在第四代核电技术发展上取得领先。我国核电发展也大致经历了四个发展阶段。

起步阶段（20世纪80年代到21世纪初）

上世纪80年代初，中国政府首次制定了核电发展政策，决定发展压水堆核电厂，采用“以我为主，中外合作”的方针，先引进外国先进技术，再逐步实现设计自主化和设备国产化。截止2003年底，国内共有在运核电机组8台，在建核电机组2台。

秦山一期和大亚湾一期核电站开启国内核电建设序幕。1991年12月，应用中核集团研发的CNP300压水堆技术的秦山一期核电站并网发电，结束了我国大陆无核电的历史，使中国成为继美国、英国、法国、前苏联、加拿大、瑞典之后世界上第7个能够自行设计、建造核电站的国家；1994年采用法国M310型二代压水堆技术建设的大亚湾核电站并网发电。

国内核电站自主建设与国外引进并举。在实验性质的秦山一期和商业开端的大亚湾之后，我国在M310技术基础上消化吸收形成了两条自主核电技术：其一是中核形成的60万千瓦级二代压水堆技术CNP600，并成功应用于2002年并网发电的秦

山二期核电站和我国援建巴基斯坦的恰希玛核电站，其二是中广核消化形成的 M310 改进型二代压水堆技术，成功应用于 2002 年并网发电的岭澳一期核电站。另外，1998 年 6 月我国引进加拿大重水堆 CANDU6 技术并应用于 2003 年并网发电的秦山三期核电站；1999 年 10 月我国引进俄罗斯先进压水堆 VVER1000/AES91 技术并应用于 2007 年并网发电的田湾核电站，该技术也是最早符合欧盟标准的三代核电技术。

迅速发展阶段（2003 年至 2011 年）

为使核电建设不停步，我国明确了核电技术以二代改进型过渡、发展第三代核电的发展路线。在三代核电技术完全消化吸收掌握之前，以现有二代改进型核电技术为基础，通过设计改进和研发，自主建设适当规模的压水堆核电站。截止 2011 年底，国内共有在运核电机组 15 台，在建核电机组 28 台，主要以二代改进型技术为主。

国内吸收再创新形成二代改进型核电技术，核电进入批量化建设阶段。2005 年，中广核集团在岭澳一期 M310 改进技术基础上进行自主创新设计形成了 CPR1000、CPR1000+ 等二代改进型技术，中核集团在 CNP600 的基础上形成了 CNP1000 二代改进型技术，在此期间，采用二代改进型技术的核电站进入了批量化建设阶段，国内核电进入了快速发展期。

引进美法三代核电技术，定位美国 AP1000 技术为国内建设主流机型。2003 年 10 月，全国核电建设工作会议做出了“引进第三代核电技术，统一核电发展路线”的决定。2004 年国家核电技术公司（现已与中国电力投资集团合并为国家电力投资集团）成立并主导了国际第三代核电技术的招标引进，美国 AP1000 中标浙江三门核电站，出于统一国内堆型的考虑，国内三代核电新建机组将以 AP1000 机组为主，并争取在 2010 年前实现批量化建设。另外，中广核集团引进法国 EPR 三代核电技术，并于 2009 年在台山核电站项目上落地应用；中核集团继续采用俄罗斯 VVER1000/AES91 技术推进田湾核电项目建设。

谨慎发展阶段（2011 年至 2018 年）

2011 年 3 月发生的日本福岛核事故给刚刚复苏的世界核电造成巨大冲击。中国自福岛核事故后进行了历时一年半的安全检查，得出安全有保障的结论，但不上马新的核电项目。2012 年 10 月，国家讨论通过了《核电中长期发展规划（2011-2020 年）》，要求新建核电项目必须符合三代核电安全标准。2011 年至 2018 年，除了 2015 年审批的 4 台二代改进型技术和 4 台华龙一号核电机组，再无其他核电机组审批通过。截止 2018 年底，国内共有在运核电机组 44 台，在建核电机组 13 台，在建机组中采用三代技术的核电站占比超 50%。

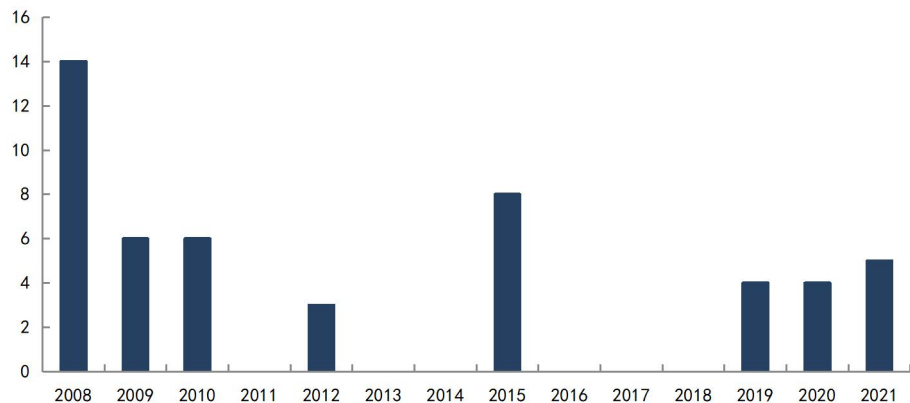
国内自主设计再创新形成三代核电技术“华龙一号”及 CAP1400 技术。“华龙一号”是充分利用现有设计技术和装备制造体系、渐进式改进形成的自主三代核电技术，其目的主要是促进中国核电出口。在形成之初，中广核、中核各有一个存在差异的“华龙一号”技术。中广核集团是在 CPR1000+ 技术基础上改进形成 ACPR1000 核电技术，再结合法国 EPR 技术形成了中广核“华龙一号”三代核电技术，并于 2015 年 12 月在防城港开启示范堆项目建设；中核集团在 CNP1000 基础上改进形成 ACP1000 核电技术，再进行渐进式改进形成中核“华龙一号”三代核电技术，并于 2015 年 5 月在福清开启示范堆项目建设。为了统一国内技术路线，国家决定对中核和中广核技术进行融合，成立华龙国际核电技术公司负责融合事宜。2017 年 8 月，国家能源局同意华龙国际核电技术公司上报的《华龙一号技术融合方案》，标志着华龙一号技术融合基本完成。另外，国电投在消化吸收美国 AP1000 技术的基础上形成了具有自主知识产权的 CAP1400 技术。

AP1000、华龙一号及 VVER1200 等三代核电技术在国内呈并行发展之势。国内新建核电机组拟采用三代技术路线大致经历了三个阶段的转变：1、AP1000 引进之初，国内后续新上马的三代核电机组需全部采用 AP1000 技术，但由于该技术在全球首次应用，示范项目三门、海阳核电站建设因种种原因一再延期，AP1000 不具备快速批量化建设的条件；2、华龙一号项目 2015 年在防城港和福清核电站开建，国内部分原计划采用 AP1000 的核电项目（比如福建漳州核电项目）也更改为华龙一号，呈现 AP1000、华龙一号并行发展的态势；3、2018 年 6 月，中俄签订 VVER1200 型三代核电机组 200 亿元框架合同，根据合同约定，中俄将在田湾和徐大堡厂址合作建设 4 台 VVER-1200 型三代核电机组，国内核电技术路线将呈现三足鼎立之势。

积极有序发展阶段（2019 年至今）

三代核电审批加速，政策态度积极明确。2019 年 1 月，国内核电经过三年冰冻期，批准了四台华龙一号机组（漳州核电一期 2 台，太平岭核电一期 2 台），随后，在 2020 年我国再次新核准四台华龙一号机组（昌江核电二期 2 台、三澳核电一期 2 台），我国核电审批节奏明显加快。2020 年 9 月 28 日，中国具有完全自主知识产权的三代核电技术“国和一号”（CAP1400）研发完成；2021 年，“华龙一号”首堆福清 5 号机组成功商运，“华龙一号”的成熟落地以及“国和一号”的研发成功为核电积极发展奠定夯实的技术基础。2021 年 3 月，“十四五”规划中明确提出积极有序的发展沿海三代核电建设，2021 年国内新核准机组 5 台，包括 4 台华龙一号压水堆，1 台玲珑一号小堆，分别是：田湾核电 7 号、8 号机组，徐大堡核电 3 号、4 号机组，海南昌江多用途模块式小型堆，我国核电审批明显加速。

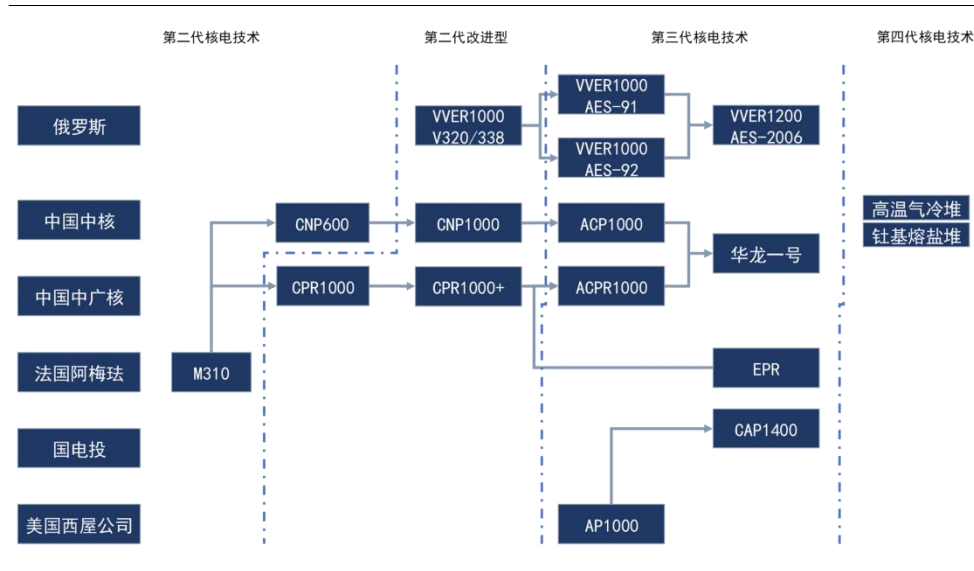
图9：历年国内新核准核电机组数



资料来源：中国核能行业协会、国际原子能机构 IAEA、核安全局，国信证券经济研究所整理

国内四代核电技术领跑世界。国内目前研发的第四代核能技术有两种：一种是高温气冷堆，另一种是钍基熔盐堆。高温气冷堆采用惰性气体氦进行冷却，氦气能够充分吸收热量，产生 700 多度的高温，从而提高发电效率，同时气冷堆的安全性也更高。目前世界首座四代核电高温气冷堆——石岛湾高温气冷堆核电站已成功商运。钍基熔盐堆的主要特点是用熔盐作为换热介质，对水资源的消耗很少，因此适合在水资源短缺的地区建设。此外，用稀土元素资源更为丰富；同时熔盐堆运行过程中本身不带压，出现事故时能够自动停止核反应，安全性更高。目前甘肃钍基熔盐堆已完成机电安装，即将试运行。

图 10: 国内核电技术演变历程

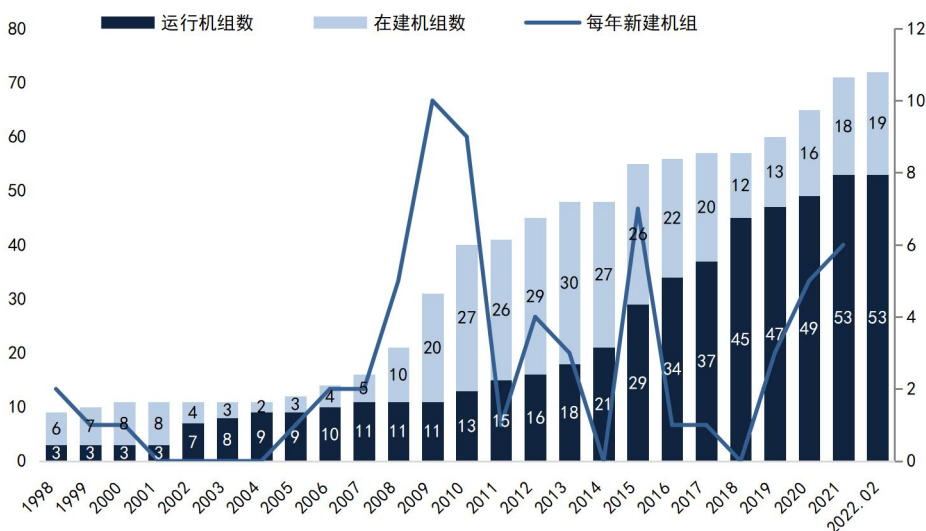


资料来源：国电投官网，国信证券经济研究所整理

国内核电发展现状：在运机组 53 台，在建机组 19 台

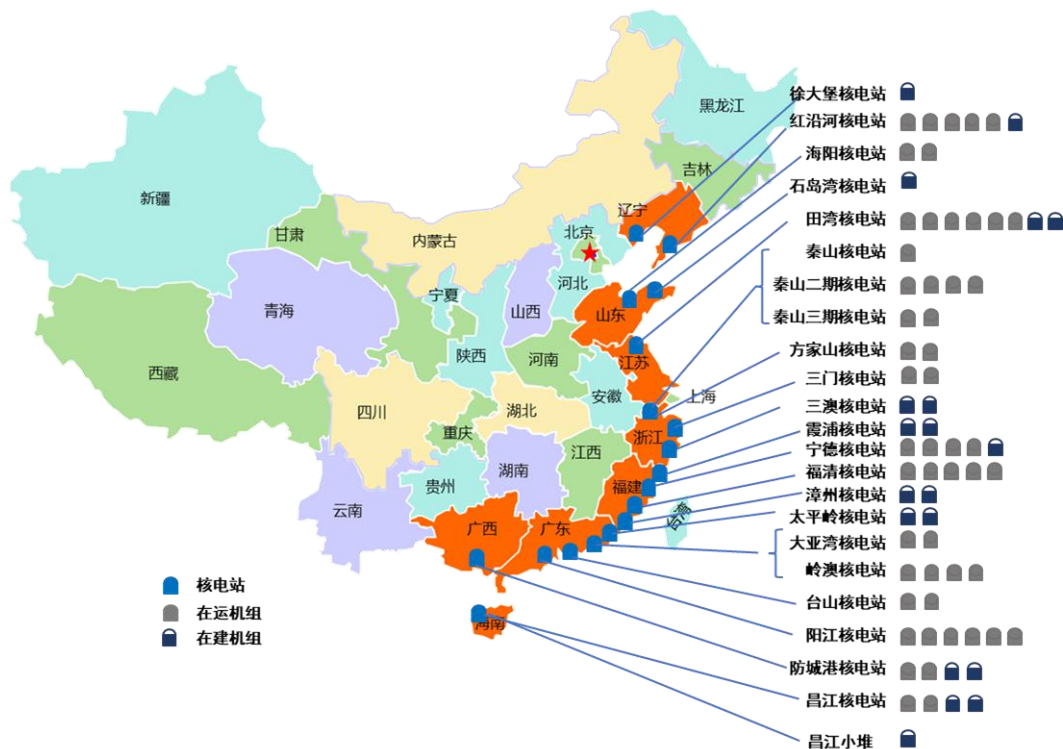
截至 2022 年 02 月 28 日，我国所有在运（以首次并网为准）、在建（以浇灌第一罐混凝土为准）核电机组均为沿海核电站，在运的核电机组共 53 台，装机容量约 5465 万千瓦，在建核电机组共 19 台（包括快堆 2 台、小堆 1 台），总装机容量约 2148 万千瓦。其中，在建机组中有一半以上采用的是华龙一号。此外，徐大堡 4 号机组已获得核准，暂时还未浇灌第一罐混凝土（FCD）。

图 11: 历年在运、在建和新建机组情况



资料来源：中国核能行业协会、国际原子能机构 IAEA，国信证券经济研究所整理

图12：国内在运、在建机组示意图



资料来源：中国核能行业协会、国际原子能机构 IAEA、中国核电、中广核官网，国信证券经济研究所整理

表4：截止至 2022 年 02 月在运机组情况

名称	个数	类型	型号	单机装机容量 MWe	控股集团
秦山一期	1	PWR	CNP300	330	中核
秦山二期 1#	1	PWR	CNP650	650	中核
秦山二期 2#	1	PWR	CNP650	650	中核
秦山二期 3#	1	PWR	CNP650	660	中核
秦山二期 4#	1	PWR	CNP650	660	中核
秦山三期 1#	1	PWR	CANDU6	728	中核
秦山三期 2#	1	PWR	CANDU6	728	中核
田湾 1#	1	PWR	AES-91	1060	中核
田湾 2#	1	PWR	AES-91	1060	中核
田湾 3#	1	PWR	VVER1000	1126	中核
田湾 4#	1	PWR	VVER1000	1126	中核
田湾 5#	1	PWR	CNP1000	1118	中核
田湾 6#	1	PWR	CNP1000	1118	中核
昌江一期 1#	1	PWR	CNP600	650	中核
昌江一期 2#	1	PWR	CNP600	650	中核
方家山一期 1#	1	PWR	GPR1000	1089	中核
方家山一期 2#	1	PWR	GPR1000	1089	中核
福清 1#	1	PWR	CNP1000	1089	中核

福清 2#	1	PWR	CNP1000	1089	中核
福清 3#	1	PWR	CNP1000	1089	中核
福清 4#	1	PWR	CNP1000	1089	中核
福清 5#	1	PWR	HPR1000	1161	中核
福清 6#	1	PWR	HPR1000	1161	中核
三门一期 1#	1	PWR	AP1000	1251	中核
三门一期 2#	1	PWR	AP1000	1251	中核
大亚湾一期 1#	1	PWR	M310	984	中广核
大亚湾一期 2#	1	PWR	M310	984	中广核
防城港一期 1#	1	PWR	CPR1000	1086	中广核
防城港一期 2#	1	PWR	CPR1000	1086	中广核
岭澳一期 1#	1	PWR	M310	990	中广核
岭澳一期 2#	1	PWR	M310	990	中广核
岭澳二期 3#	1	PWR	CPR1000	1086	中广核
岭澳二期 4#	1	PWR	CPR1000	1086	中广核
宁德一期 1#	1	PWR	CPR1000	1089	中广核
宁德一期 2#	1	PWR	CPR1000	1089	中广核
宁德一期 3#	1	PWR	CPR1000	1089	中广核
宁德一期 4#	1	PWR	CPR1000	1089	中广核
阳江一期 1#	1	PWR	CPR1000	1086	中广核
阳江一期 2#	1	PWR	CPR1000	1086	中广核
阳江一期 3#	1	PWR	CPR1000	1086	中广核
阳江一期 4#	1	PWR	CPR1000	1086	中广核
阳江二期 5#	1	PWR	ACPR1000	1086	中广核
阳江二期 6#	1	PWR	ACPR1000	1086	中广核
台山一期 1#	1	PWR	EPR-1750	1750	中广核
台山一期 2#	1	PWR	EPR-1750	1750	中广核
红沿河一期 1#	1	PWR	CPR1000	1119	中广核、国电投
红沿河一期 2#	1	PWR	CPR1000	1119	中广核、国电投
红沿河一期 3#	1	PWR	CPR1000	1119	中广核、国电投
红沿河一期 4#	1	PWR	CPR1000	1119	中广核、国电投
红沿河二期 5#	1	PWR	ACPR1000	1119	中广核、国电投
海阳一期 1#	1	PWR	AP1000	1253	国电投
海阳一期 2#	1	PWR	AP1000	1253	国电投
石岛湾高温气冷堆 1#	1	HTGR	HTGR	211	中国华能
总计	53			54648	

资料来源：中国核能行业协会、国际原子能机构 IAEA、中国核电官网、中广核官网，国信证券经济研究所整理

表5: 截止至 2022 年 02 月在建机组情况

名称	堆型	型号	额定功率 (MWe)	机组 数量	综合国产化率	运营方	开工日期	预计并网日&施工进度
昌江二期 3#	压水堆	HPR1000	1197	1	>87%	中国华能	2021.03	土建施工阶段
昌江二期 4#	压水堆	HPR1000	1197	1	>87%	中国华能	2021.12	土建施工阶段
昌江小型堆	小型堆	ACP100	125	1	>90%	中核	2021.07	土建施工阶段
霞浦核电 1#	高温示范快堆	CFR600	682	1	90%	中核	2017.12	土建施工阶段
霞浦核电 2#	高温示范快堆	CFR600	682	1	90%	中核	2020.12	土建施工阶段
田湾 7#	压水堆	VVER1200	1265	1		中核	2021.05	土建施工阶段
田湾 8#	压水堆	VVER1200	1265	1		中核	2022.02	土建施工阶段
漳州一期 1#	压水堆	HPR1000	1212	1	>85%	中核	2019.10	土建施工阶段
漳州一期 2#	压水堆	HPR1000	1212	1	>85%	中核	2020.09	土建施工阶段
徐大堡二期 3#	压水堆	VVER1200	1274	1		中核	2021.07	土建施工阶段
红沿河二期 6#	压水堆	ACPR1000	1119	1	>75%	中广核	2015.03	调试阶段
防城港二期 3#	压水堆	HPR1000	1180	1	86.4%	中广核	2015.12	调试阶段
防城港二期 4#	压水堆	HPR1000	1180	1	86.4%	中广核	2015.12	设备安装阶段
太平岭一期 1#	压水堆	HPR1000	1200	1	>85%	中广核	2019.12	设备安装阶段
太平岭二期 2#	压水堆	HPR1000	1200	1	>85%	中广核	2020.10	土建施工阶段
三澳 1#	压水堆	HPR1000	1210	1	>85%	中广核	2020.12	土建施工阶段
三澳 2#	压水堆	HPR1000	1210	1	>85%	中广核	2021.12	土建施工阶段
国核示范工程 1#	压水堆	CAP1400	1534	1	>85%	国电投、华能	2019.06	土建施工阶段
国核示范工程 2#	压水堆	CAP1400	1534	1	>85%	国电投、华能	2020.04	土建施工阶段
总计			21478	19				

资料来源: 中国核能行业协会、国际原子能机构 IAEA、中国核电官网、中广核官网、国信证券经济研究所整理

核电转向积极有序发展，预期形成批量化建设趋势

核电预期形成批量化建设趋势：华龙一号成为首选堆型

核电预期形成稳定批量化建设。从政策角度，核电迎来较为确定的政策空间。2021年的《政府工作报告》中提出：在确保安全的前提下，积极有序的发展核电。这是自福岛核事故以来，政府工作报告中首次使用“积极”一词提及核电发展；十四五规划中也明确表示“积极有序推动沿海核电建设”；同时，2019-2020年，国家连续两年每年核准新机组4台，2021年国家核准了5台机组（4台压水堆、1台小型堆），显示了国家对于核电持积极的政策态度；**从技术角度**，国内目前主要采用的三代核电技术是华龙一号和VVER1200，两种型号技术均有机组成功商运，验证了其安全性和可靠性，具备批量化生产的条件；从能源结构上讲，核电低碳、清洁优势显著，但核电发电量占比较低（2021年仅占全国发电量的5.02%），我国碳减排和环保需求愈加强烈，发展核电是改善能源结构的必然选择；**从宏观电力需求**，我国2015-2021年全社会用电量年复合增长率为6.96%；2015-2021年发电量年复合增长率为6.60%，电力需求持续增长。因此，在政策明确+技术成熟+碳中和的三重驱动下，叠加国内电力需求持续增加，国内核电转向积极有效发展新阶段，预期形成较为稳定的批量化建设阶段。

华龙一号海内外全面开花，为核电建设首选堆型。世界首台EPR机组台山核电以及AP1000机组三门核电在2019年先后顺利并网，同时，采用我国自主研发的第三代核电技术华龙一号的首台机组—福清核电5号机组在2020年也顺利并网，预示着三代核电技术的成熟落地。目前“华龙一号”已成为国内核电新项目的首选，在国内19台在建机组中，有10台采用了华龙一号技术，同时，巴基斯坦卡拉奇核电2号顺利商运，标志着华龙一号技术出海成功，“华龙一号”在海内外全面开花。华龙一号技术在国内、国外的成功应用为新核电项目审批奠定了良好的基础。

核电低碳、清洁优势显著，核电发电量绝对值、占比较低

我国碳排放减排和环保需求强烈，发展核电是改善能源结构的必然选择。2021年10月24日，中共中央国务院联合发布了《关于完整准确全面贯彻新发展理念做好碳达峰碳中和工作的意见》，提出：1)到2025年，单位国内生产总值能耗比2020年下降13.5%，单位国内生产总值二氧化碳排放比2020年下降18%，非化石能源消费比重达到20%左右；2)到2030年，单位国内生产总值二氧化碳排放比2005年下降65%以上；非化石能源消费比重达到25%左右；3)到2060年，非化石能源消费比重达到80%以上，碳中和目标顺利实现。《意见》中提及的2030年的非化石能源消费占比相较我国在《巴黎协定》中做出的承诺进一步提升5%。同时也首次提及了2060年非化石能源消费占比目标。根据国家能源局最新统计数据，2021年全国商运核电机组累计发电量为4071.41亿千瓦时，与燃煤发电相比，核能发电相当于减少燃烧标准煤11558.05万吨，减少排放二氧化碳30282.09万吨、二氧化硫98.24万吨、氮氧化物85.53万吨。因此不论从碳排放减排需求还是环保需求出发，发展核电都是我国改善能源结构的必然选择。

核电发电与其他清洁能源相比，在发电效率、稳定性等多方面上具备明显优势。从碳排放量看，核电碳排放量与风电持平，低于光伏，而水电每发一度电的碳排放量约是核电发电的10倍；从年均利用小时数看，2020年核电的年均利用小时数约7427小时，几乎是风电的3.5倍和水电的2倍，显示了极高的发电效率；从稳

定性来看，核电发电不受季节和地理环境的影响，可以全年发电，是电力供应基荷电源的最优选择，而风电和太阳能发电受限于环境限制，一方面主要分布在西北地区，受当地电力消纳能力影响会存在一定的弃风弃电现象，另一方面发电的间歇性表现明显，如需稳定供电需要储能技术，目前储能技术还未完全成熟；**从发展空间来看**，可规划核电厂址超 200 台机组，发展空间极大，水电发展国内装机容量已达全球水电总装机量的 1/4，产能接近瓶颈，发展有限；**从单位投资成本来看**，核电高于光伏和风电，但综合考虑利用小时数和电站使用寿命，同时若考虑光伏和风电的储能系统配置，则核电仍然具备一定优势。

表6: 核电与其他能源对比

发电类型	核电	火电	风电	水电	太阳能发电
碳排放量 (g/kWh)	2-55	800-1200	2-50	400-511	33-50
主要缺点	核泄露风险	二氧化碳和大气污染物排放高	不稳定、不持续	可开发量不多	能量密度低、占地广，发电成本高
年均利用小时数/2020 年	7427	4261	2097	3827	1160
稳定性	非常稳定，可以全年发电	比较稳定	不稳定，受制于自然环境和储能技术	比较稳定	不稳定，受制于自然环境
发展空间	大	逐渐降低	依靠储能技术的完善	装机容量已到瓶颈	大
单位投资成本 (元/W)	15-18 (三代)	3.2-5.5	8-10 (陆上) 17-23 (海上)	7-13	3.5-4.5
2020 平准化发电成本 LCOE (USD/MWh)	51-68	50-66	41-62 (陆上) 69-104 (海上)	29-33 (小水电) 83-276 (抽水蓄能)	29-59
建设周期	5 年左右	2 年左右	1 年-2 年	5 年-8 年	4-6 月
使用寿命	60 年	30 年	20-30 年	50-100 年	25 年

资料来源：国家能源局、北极星电力网、Bloomberg New Energy Finance、中电联、中国核能行业协会，国信证券经济研究所整理

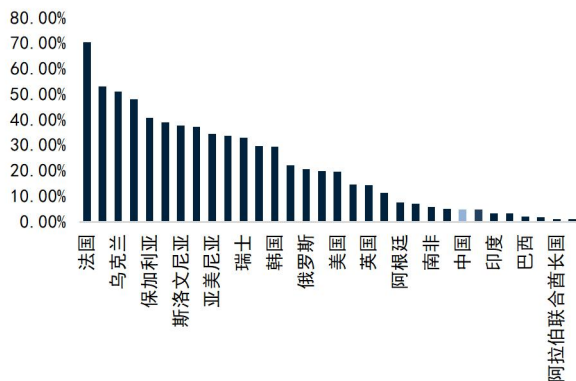
表7: 2020 年不同发电来源度电成本对比 (元/KWh)

发电类型	核电	火电	风电	水电	太阳能发电
国电电力		0.19	0.17	0.05	0.37
大唐发电		0.27	0.23	0.10	0.32
中国核电	0.18		0.19		0.26
中国广核	0.18				

资料来源：国电电力公告、大唐发电公告、中国核电公告、中国广核公告，国信证券经济研究所整理

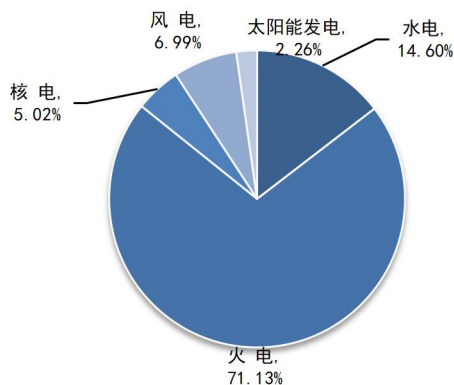
我国核电发电量占比仍较低，与其他国家对比发展潜力巨大。根据国家能源局最新统计数据，2021 年全国累计发电量为 81121.8 亿千瓦时，商运核电机组累计发电量为 4071.41 亿千瓦时，约占全国累计发电量的 5.02%，远远低于占比约 71.13% 的火电发电量。同时，从全球核电发电占比来看，国内核电发电占比远低于全球平均水平，仍有较大的提升空间。

图 13: 中国核电发电占比全球靠后



资料来源: 世界核能协会, 国信证券经济研究所整理

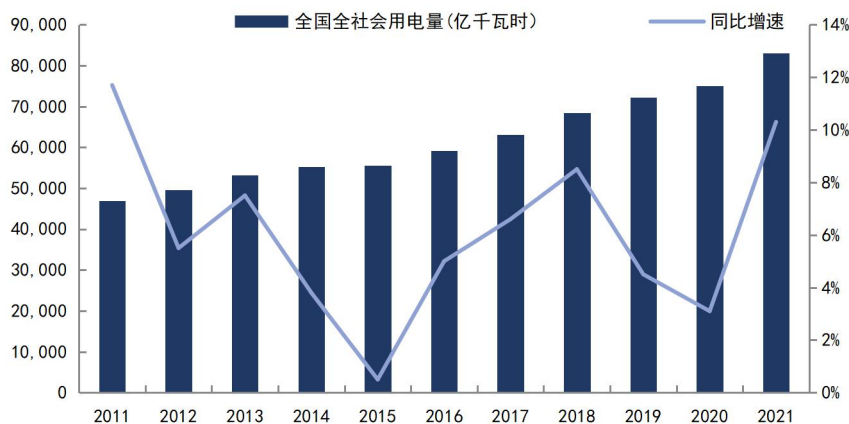
图 14: 2021 年核电发电量占全国发电总量约 5.02%



资料来源: 国家能源局, 国信证券经济研究所整理

我国全社会用电量创近五年新高, 电力需求持续增长。我国全国全社会用电量增速自 2015 年以来持续回升, 2021 年同比增长 10.30%, 达到近五年的最高值。受益用电需求持续上市, 国家从需求端考虑增加核电新项目审批因素进一步增强, 核电有望形成稳定的批量化建设。

图 15: 全国全社会用电量 2021 年同比增长 10.30%



资料来源: 国家能源局, 国信证券经济研究所整理

政策积极、技术成熟, 批量化建设条件已备

2021 年多个政策支持核电发展, 政策态度变得更为积极。根据《国民经济和社会发展第十四个五年规划和 2035 年远景目标纲要》, “十四五”时期我国将建成华龙一号、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, 核电运行装机容量达到 7000 万千瓦。同时根据中国核能行业协会发布的《中国核能发展与展望(2021)》, 预计在 2030 年, 在运装机容量达到 1.2 亿千瓦。截至 2021 年 02 月 28 日, 我国运行核电机组共 53 台, 在建机组 19 台, 总装机容量为 7612 万千瓦, 按照单机组容量 125 万千瓦估算, 假设核电建设周期为 5 年, 预计 2025

年前需要新开工 35 台核电机组。同时在 2021 年的《政府工作报告》中，核电发展方针已由 2018 年的“稳妥推进核电发展”转为“在确保安全的前提下积极有序发展核电”。

表8: 核电政策态度更为积极明确，稳妥推进核电发展

时间	内容	主要内容
2012. 10. 25	《核电中长期发展规划(2011-2020年)》	2015年将完成原规划当中的在运4000万千瓦核电装机的目标,在建核电装机规模有所上调,将略超过2000万千瓦;到2020年中国核电装机将达到在运5800万千瓦,在建3000万千瓦。
2014. 06. 07	《能源发展战略行动计划(2014-2020年)》	安全发展核电:在采用国际最高安全标准、确保安全的前提下,适时在东部沿海地区启动新的核电项目建设,研究论证内陆核电建设。到2020年,核电装机容量达到5800万千瓦,在建容量达到3000万千瓦以上。
2016. 11. 7	《电力发展十三五规划(2016-2020年)》	安全发展核电,推进沿海核电建设:坚持安全发展核电的原则,加大自主核电示范工程建设力度,着力打造核心竞争力,加快推进沿海核电项目建设。深入开展内陆核电研究论证和前期准备工作,认真做好核电厂址资源保护工作。“十三五”期间全国核电投产约3000万千瓦、开工3000万千瓦以上,2020年装机达到5800万千瓦。
2016. 12. 26	《能源发展十三五规划》	安全高效发展核电:在采用我国和国际最新核安全标准、确保万无一失的前提下,在沿海地区开工建设一批先进三代压水堆核电项目。加快堆型整合步伐,稳妥解决堆型多、型杂的问题,逐步向自主三代主力堆型集中。积极开展内陆核电项目前期论证工作,加强厂址保护。2020年运行核电装机力争达到5800万千瓦,在建核电装机达到3000万千瓦以上。
2017. 2. 10	《2017年能源工作指导意见》	安全发展核电。2017年内建成5台核电机组(三门-1,福清-4,阳江-4,海阳-1,台山-1)。新增装机规模641万千瓦;年内计划开工8台机组,积极推进8台机组的前期工作(三门-3、4,宁德-5、6,漳州-1、2,惠州-1、2)项目规模986万千瓦。
2018. 2. 26	《2018年能源工作指导意见》	稳妥推进核电发展。积极推进已开工核电项目建设,年内计划建成三门1号、海阳1号、台山1号、田湾3号和阳江5号机组,合计新增核电装机约600万千瓦。积极推进具备条件项目的核准建设,年内计划开工6~8台机组。扎实推进一批厂址条件成熟、公众基础好的沿海核电项目前期论证工作。
2018. 6. 27	《关于印发打赢蓝天保卫战三年行动计划的通知》	到2020年,非化石能源占能源消费总量比重达到15%。有序发展水电,安全高效发展核电。
2018. 08. 09	《加强核电标准化工作的指导意见》	建立政府引导、相关企事业单位广泛参与、协同推进核电标准化工作的体制机制;形成标准技术路线统一、结构完善的核电标准体系,全面支撑核电安全高效发展及核电“走出去”
2019. 06. 27	《全面放开经营性电力用户发用电计划》	核电机组发电量纳入优先发电计划,按照优先发电优先购电计划管理有关工作要求,做好保障消纳工作。
2021. 03. 13	《国民经济和社会发展第十四个五年规划和2035年远景目标纲要》	“十四五”时期我国将建成华龙一号、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。核电运行装机容量达到7000万千瓦。
2021. 10. 24	《中共中央国务院关于完整准确全面贯彻新发展理念做好碳达峰碳中和工作的意见》	积极发展非化石能源。坚持集中式与分布式并举,优先推动风能、太阳能就地就近开发利用。因地制宜开发水能。积极安全有序发展核电。
2021. 10. 27	《2030年前碳达峰行动方案》	合理确定核电站布局和开发时序,在确保安全的前提下有序发展核电,保持平稳建设节奏。积极推动高温气冷堆、快堆、模块化小型堆、海上浮动堆等先进堆型示范工程,开展核能综合利用示范。加大核电标准化、自主化力度,加快关键技术装备攻关,培育高端核电装备制造产业集群。实行最严格的安全标准和最严格的监管,持续提升核安全监管能力。

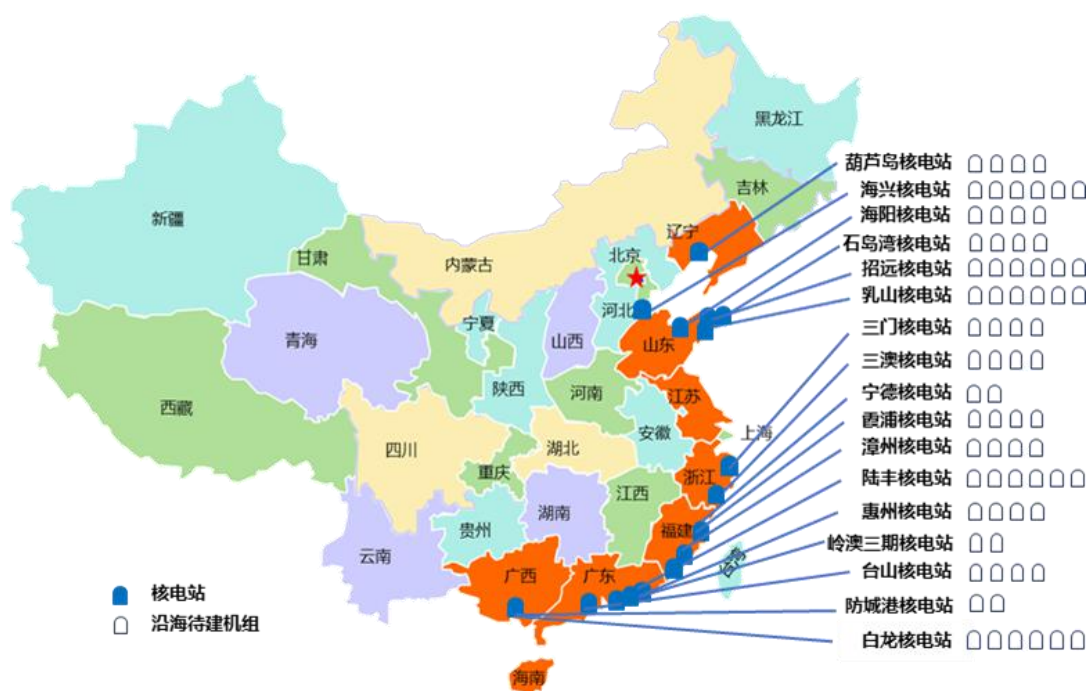
资料来源:中国政府网,国信证券经济研究所整理

三代核电技术成熟，已具备批量化建设条件。目前国内在建三代核电技术包括华龙一号和 VVER1200，技术路线以华龙一号为主。华龙一号是充分利用现有设计技术和装备制造体系、渐进式改进形成的三代核电技术，95%的设备采用成熟的设计和制造工艺，关键设备如主泵、蒸汽发生器、数字化仪控系统（DCS）等均采用成熟定型产品，具有丰富的工程应用和运行经验。目前华龙一号国内首堆——福清 5#机组、海外首堆——巴基斯坦卡拉奇核电 2 号均已成功商运；VVER1200 在俄罗斯已有四台机组商运，两种技术路线均具备了批量化建设的条件。

核电沿海待建机组超 70 台，可满足近 10 年建设需求

截至 2022 年 02 月，根据现有数据统计，沿海厂址待建机组数至少有 72 台。按现有规划的目标，厂址可满足 2022-2030 年均 6-8 台新建机组建设需求。

图 16：核电沿海待建机组超 70 台



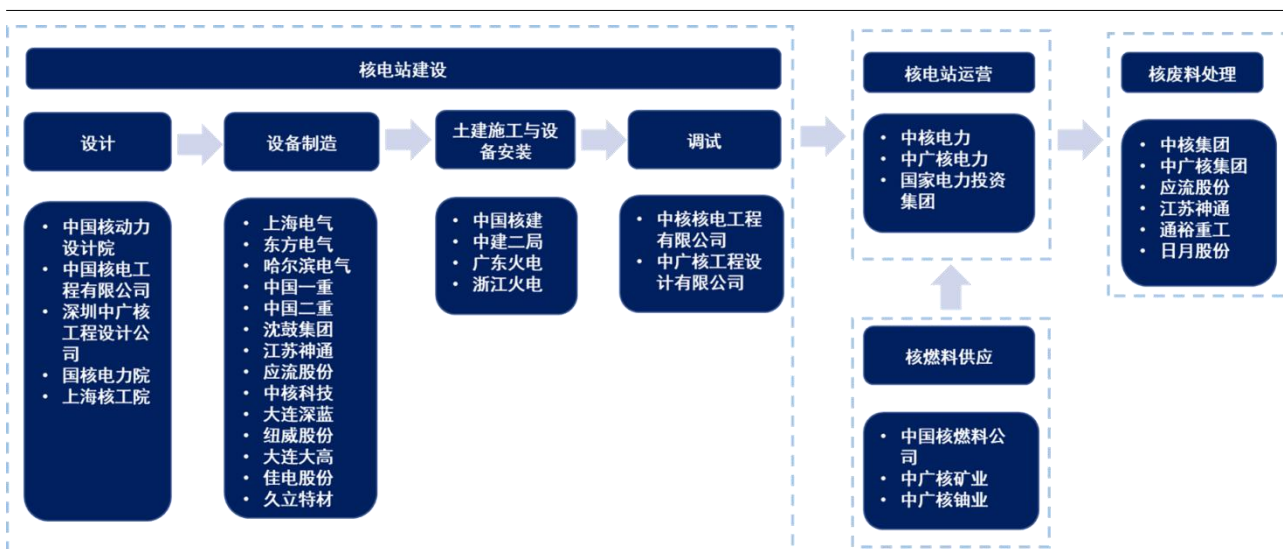
资料来源：国家能源局、WNA，国信证券经济研究所整理

核电产业链分析：高壁垒的垄断性产业格局

核电产业链概况

核电产业链主要分为核电站建设、核电站运营、核燃料供应以及核废料处理等环节。其中核电站建设流程主要包括核电设计、核电设备制造、土建施工与设备安装、调试等流程。核电站设计是指根据建设工程的要求，对建设工程所需的技术、经济、资源、环境等条件进行综合分析、论证，编制建设工程设计文件的活动；核电设备制造包括核岛设备、常规岛设备和辅助设备系统（BOP）等设备的制造；土建施工与设备安装是根据工程所确定的标准、设计文件、图纸，经过现场土建和安装施工的集成，最终把设计蓝图转换成系统完整、功能齐全的核电站，主要包括核岛、常规岛及 BOP 厂房的施工和建设；调试是核电站设计、制造、施工、安装完成后，用调整试验的手段进行质量和性能符合性的检验，检查缺陷和消除缺陷的过程；核燃料供应主要包括铀矿的开采、加工及燃料棒的供应；核电站运营是指核电站发电及日常维护管理工作；核废料处理主要是对核废料短期存放、后期处理、运输、永久掩埋等工作。

图17：核电产业链及主要公司



资料来源：Wind、公司官网，国信证券经济研究所整理

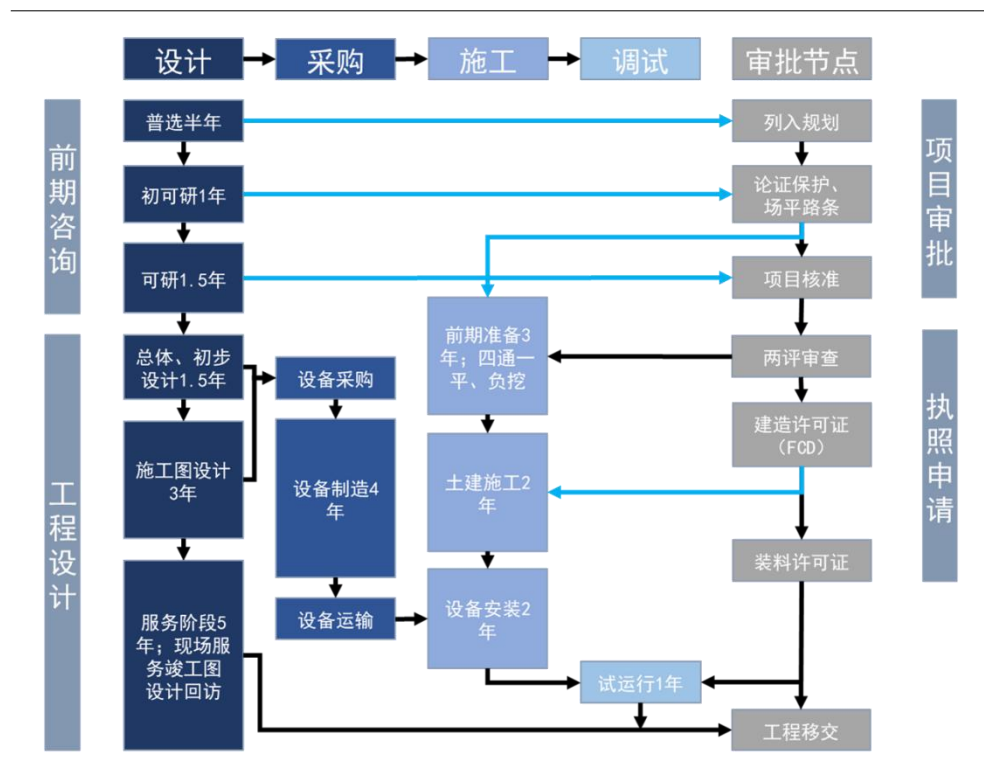
核电站建设流程概况

核电站建设是包括前期策划、初步可行性研究、可行性研究、设计、采购、设备监造、施工、安装、调试、移交运营等一系列过程的总集成。我们以第一罐混凝土浇灌日（FCD）为分界点将核电站粗略分为 2 个大的阶段。FCD 是一个核电工程的“零点”，是一个核电站建设的重要里程碑，标志着前期准备工作的结束和核电现场土建工程的正式开工，通常意义上的核电审批通过后是以此节点进行确认。FCD 之前，核电站建设主要工作包括前期咨询、前期准备工程和开展核电站总体及初步设计等，一般至少 5 年以上。前期咨询的目的是为核电建设项目投资决策提供咨询，其核心是选择一个能实现最佳投资的合适厂址，通常主要包括厂址普选、初步可行性研究和可行性研究三个阶段。厂址普选完成后核电站建设可列入国家规划；初步可行性研究完成后可获取“小路条”，允许核电站开展四通一平、

负挖等前期准备工程；可行性研究完成后即具备了项目核准的必要条件；此后顺利通过安全、环境两评报告审查之后，核电站将有望获取建造许可证，实现 FCD。在项目核准之后，核电站同时开始开展核电站的总体及初步设计。FCD 之前的阶段一般至少需要 5 年以上时间。

FCD 之后，核电站建设主要工作包括设计、采购、施工、调试直至移交运营等环节，一般至少 5 年以上。核电站设计即指按照规定的规范、标准、设计导则和设计程序，在相应的设计体系 and 设计平台上，运用专业技能知识和经验，编制和出版设计文件、图纸、计算书、技术规范书等活动过程，贯穿核电站建设始终，总共历时约 10 年左右；设备采购在设计工作完成之后陆续展开，等待设备制造完成后，根据项目施工进度陆续运输至现场进行安装调试；核电站施工是根据工程所确定的标准、设计文件、图纸，经过现场土建和安装施工的集成，最终把设计蓝图转换成系统完整、功能齐全的核电厂，主要包括土建施工（2 年）和设备、系统安装工程（2 年）；调试是核电站设计、制造、施工、安装完成后，用调整试验的手段进行质量和性能符合性的检验，检查缺陷和消除缺陷的过程，通常历时 1 年；调试完成后将进行工程移交，核电站进入准备商运阶段。

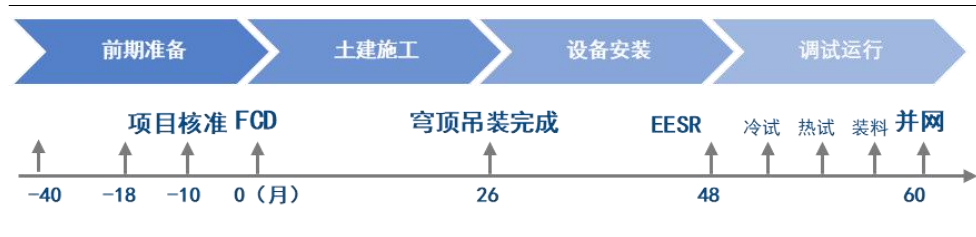
图 18: 核电建设整体流程



资料来源：中核、中广核官网，国信证券经济研究所整理

核电站建设中主要包括穹顶吊装、EESR、热试完成、装料及并网等关键里程碑。穹顶吊装完成意味着土建工程结束，核电站将全面转入以设备安装为主的施工阶段；EESR (End of Erection Status Report) 意味着某一系统/子系统的安装完成，该系统转入调试阶段；热试全称热态功能试验，是核反应堆装载核燃料前的综合性能试验，热试完成意味着核电站具备装料条件；装料指的是装载核燃料，作为核电站建设中有核与无核的分界点，它是核电站并网发电前最后的一个关键环节；并网发电意味着核电站建设基本完成，具备商运条件。

图19: 核电站建设关键里程碑



资料来源：中核、中广核电子商务平台，国信证券经济研究所整理

预计核电市场规模 2025 年前超 4000 亿元

根据中国核能行业协会发布的《中国核能发展与展望(2021)》预测，我国三代核电按照每年 6-8 台的节奏，实现规模化和批量化发展。以华龙一号机组作为后续待建机组的代表机型估算，单台机组装机功率 116 万千瓦，造价以批量化建设后 15700 元/千瓦估计，对应单台核电机组造价大约 182 亿元，保守按照年均开工 6 台核电机组计算，**每年核电市场规模 1093 亿元，2025 年前核电市场规模 4371 亿元**。核电站投资中，核电设备投资占比约 50%，**据此估算每年核电设备市场规模约 546 亿元，2025 年前核电设备市场规模约 2185 亿元**，其中核岛设备投资占比约一半；基础建设占比约 40%，2025 年前其市场规模约 1748 亿元；其他辅助设施占比约占 10%，2025 年前市场规模约 437 亿元。

图20: 核电投资中设备投资占一半

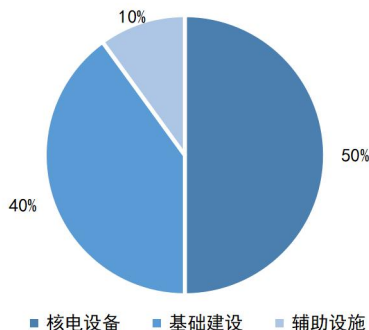
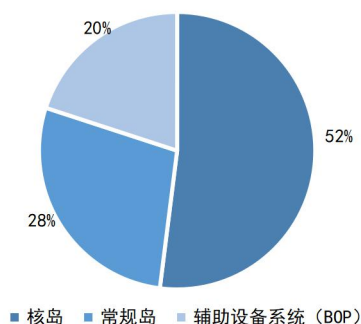


图21: 设备投资中核岛设备占 52%

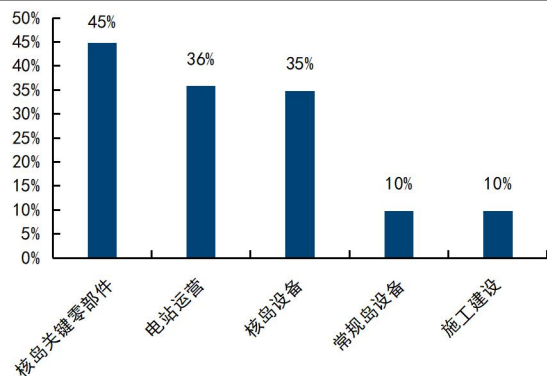


资料来源：《第三代核电技术经济性探析》，国信证券经济研究所整理

资料来源：产业信息网，国信证券经济研究所整理

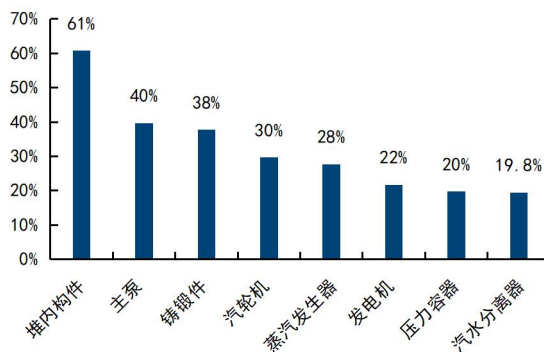
核电产业链核岛关键零部件毛利率最高。从产业链的毛利率来看，核岛关键零部件的利润率最高，高达 45%左右，其次是电站运营（36%）和核岛设备（35%），常规岛设备和施工建设利润率约为 10%。将核岛和常规岛的主设备的毛利率进行比较，堆内构件的利润率最高，高达 61%，其次是主泵（40%）和铸锻件（38%），再次为汽轮机（30%）和蒸汽发生器（28%），发电机、压力容器和汽水分离器的毛利率均较低，分别为 22%、20%和 19.8%。

图22: 核电产业链环节的毛利率比较



资料来源: 中国产业信息网, 国信证券经济研究所整理

图23: 核电设备毛利率比较



资料来源: 中国产业信息网, 国信证券经济研究所整理

核电设计: 中核、中广核占领主要市场

我国核电设计环节主要由中国核动力研究设计院、深圳中广核工程设计有限公司、国核电力规划设计研究院及上海核工程研究设计院等四家公司承担, 其中中国核动力研究设计院和深圳中广核工程设计有限公司占据主要市场。

中国核动力研究设计院是中国商用核电站设计的排头兵。中国核动力研究设计院隶属于中国核工业集团公司, 2002 年设计的秦山核电二期工程核反应堆及反应堆冷却剂系统投入使用, 是其进行商用核电站自主设计的起点, 该电站是我国第一座自主设计、自主建造、自主调试和自主管理运行的商用核电站; 中核设计院设计的岭澳二期工程, 是我国首次自主设计的百万千瓦级大型商用压水堆核电项目, 2010 年 3 号机组成功并网并投入商运, 标志着我国已基本具备百万千瓦级核电研究设计的能力。截止目前, 中核设计院承担了 20 台机组的核电工程设计任务, 设计范围从反应堆及反应堆冷却剂系统及相关仪控系统扩展到核蒸汽供应系统。

表9: 中国核动力设计研究院承担核电工程设计任务

项目名称	机组数(台)	设计范围
秦山二期扩建工程	2	反应堆及反应堆冷却剂系统及相关仪控系统
岭澳二期核电工程	2	反应堆及反应堆冷却剂系统
红沿河核电工程	4	核蒸汽供应系统 (NSSS)
宁德核电工程	2	核蒸汽供应系统 (NSSS)
阳江核电工程	2	核蒸汽供应系统 (NSSS)
方家山核电工程	2	反应堆及反应堆冷却剂系统
福清核电工程	4	反应堆和反应堆冷却剂系统及相关仪控系统
海南昌江核电工程	2	反应堆和反应堆冷却剂系统及相关仪控系统

资料来源: 中国核动力设计研究院, 国信证券经济研究所整理

深圳中广核工程设计有限公司后来居上, 承建核电机组最多。深圳中广核工程设计有限公司是我国首家集核电站核岛、常规岛、电站辅助设施及全厂总体设计为一体的核电、火电工程设计高新技术单位。公司创建于 2005 年 5 月成立, 隶属于

中广核集团。

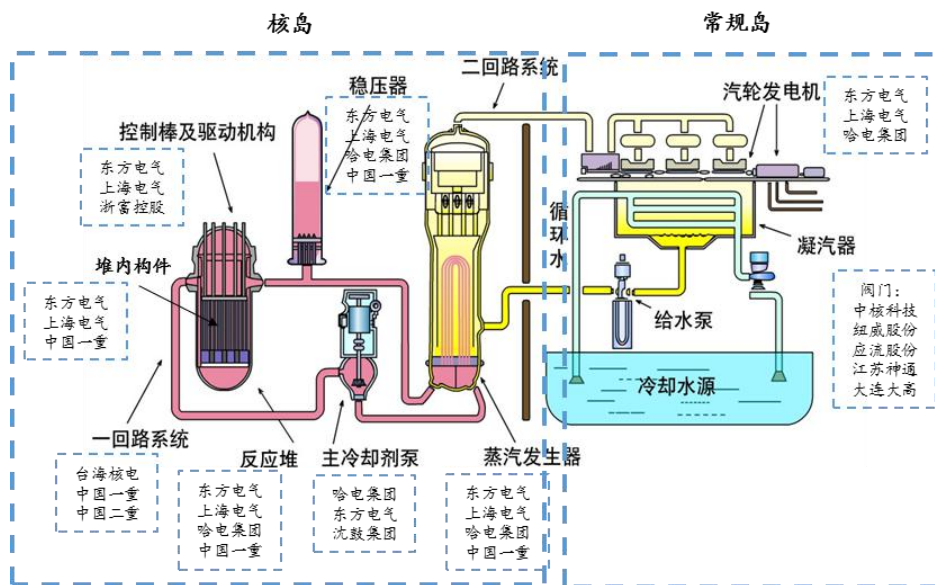
国核电力规划设计研究院主要负责 AP1000 三代核电技术的引消吸及再创新工作。国核电力规划设计研究院是国内 AP/CAP 三代核电（CI+BOP）研究、规划、设计的引领者，全面参与 AP1000 三代核电技术的引进、消化、吸收和再创新，完成山东海阳核电一期工程的设计，国内第一家具备 AP1000 三代核电常规岛全过程设计能力，承担具有四代特征的荣成高温堆核电、国家重大专项 CAP1400 核电、徐大堡核电、白龙核电等工程常规岛设计，在山东、黑龙江、广西等十余个省份开展核电选址和前期工作。

上海核工程研究设计院是国内首家由核蒸汽供应系统开发、设计，直至完成核电厂工程设计，并经建造、运行验证，深刻经历了核电技术自主化发展过程的研究设计院，也是我国第一座自行研究、设计、建造的秦山核电站的总体设计院。此外，上海院完成中国第一个核电站出口项目——巴基斯坦恰希玛核电站总包设计，通过第三代核电技术 AP1000 技术的引进消化吸收再创新工作，研发出具有世界先进水平的大型先进压水堆核电型号——国和一号（CAP1400），目前正承担着 AP1000 依托项目工程设计、重大专项 CAP1400 型号设计、CAP1700 方案设计、小堆方案研发、四代堆预研以及国内 28 个机组技术服务与运行支持、技术改造。

设备制造：国企垄断为主，细分领域民企快速成长

核电设备主要分为核岛设备、常规岛设备和辅助设备系统（BOP）。核电站主要由核岛和常规岛组成，核岛主要用于核反应堆的运行，常规岛主要用于将核反应堆产生的能量转变为电能。核岛主设备主要包括核反应堆（包括堆芯、压力容器、堆内构件）、反应堆冷却剂泵、蒸汽发生器、控制棒及驱动机构、稳压器、主管道等，常规岛设备主要包括汽轮机、发电机、汽水分离再热器等。辅助设备系统即核蒸汽供应系统之外的部分，包括供热通风与空气调节系统（HVAC 系统）、排水系统等。

图 24：核电站主设备及主要供应商

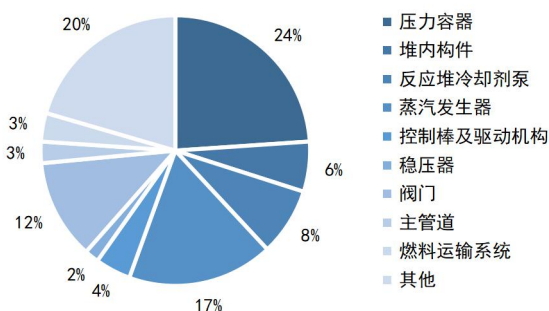


资料来源：北极星电力网，国信证券经济研究所整理

四大国企垄断主要设备市场，民营企业细分领域占据优势地位。核电设备行业存在较高的行业壁垒。从**技术壁垒**上讲，核电关键设备技术难度大，技术门槛高，同时核电对安全和质量的要求需要技术相对成熟可靠，一般需要供货商有过往的供货业绩；从**准入资质壁垒**上讲，企业生产核电设备需要获得民用核设备的设计制造资质，其中核一级、二级资质获取难度极大，需要企业长期的技术积累和资本投入；从**资金壁垒**上讲，核电设备生产需投入大量资金用建设厂房和购买专用设备，而且核电设备合同金额大，周期长，也将占用大量流动资金。正因为以上原因，核电市场呈现垄断竞争的态势。核电站主设备主要由上海电气、东方电气、哈电集团、中国一重及中国二重垄断，包括反应堆压力容器、堆内构件、控制棒及驱动机构、稳压器、蒸汽发生器、汽轮发电机、主冷却剂泵等；近年来，部分民营企业占据细分领域主导地位，并通过产品线延伸进一步发展。应流股份在主泵泵壳取得主导地位，江苏神通、纽威股份、中核科技等企业在阀门市场取得主导地位。

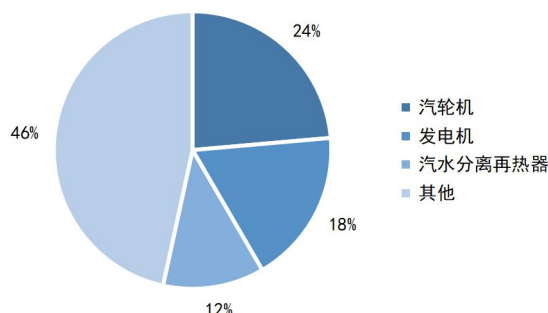
核电设备投资中，主设备投资占据主要份额。核岛中，各核岛设备的投资占比分别为：压力容器约 24%，堆内构件约 6%，反应堆冷却剂泵约 8%，蒸汽发生器约 17%、控制棒及驱动机构约 4%、稳压器 2%，阀门约 12%、主管道约 3%、燃料运输系统约 4%，其他约 20%；常规岛中，各常规岛设备的投资占比分别为：汽轮机约 24%，发电机约 18%，汽水分离再热器 12%，其他 46%。

图 25：核岛投资成本占比



资料来源：中国产业信息网，国信证券经济研究所整理

图 26：常规岛投资成本占比



资料来源：中国产业信息网，国信证券经济研究所整理

表 10：核电设备细分设备市场规模

设备	占比	2022-2025 市场规模（亿元）	主要厂商
核电设备	100%	2185	
核岛设备	52%	1136.2	
压力容器	12.5%	273.125	上海电气、东方电气、哈尔滨电气、中国一重
堆内构件	3.1%	67.735	上海电气、东方电气、中国一重
反应堆冷却剂泵	4.2%	91.77	哈尔滨电气、东方电气、沈鼓集团
蒸汽发生器	8.8%	192.28	上海电气、东方电气、哈尔滨电气、中国一重
控制棒及驱动机构	2.1%	45.885	上海电气、东方电气、浙富控股
稳压器	1%	21.85	东方电气、上海电气、哈尔滨电气、中国一重
阀门	6.2%	135.47	中核科技、江苏神通、应流股份、纽威股份
主管道	1.6%	34.96	台海核电、中国一重、中国二重
燃料运输系统	1.6%	34.96	东方电器、上海电气、哈尔滨电气

其他	10.4%	227.24	
常规岛设备	28%	611.8	
汽轮机	6.4%	139.84	
发电机	5%	109.25	
汽水分离再热器	3.4%	74.29	东方电气、上海电气、哈尔滨电气
其他	12.9%	281.865	
辅助设备系统 (BOP)	20%	437	

资料来源：中国产业信息网、中广核、中核电子商务平台，国信证券经济研究所整理

土建施工与设备安装：核岛中国核建独大，常规岛多强并存

核电站的土建工程与设备安装主要包括前期准备工程、土建工程和设备安装及其他核电站相关工程，其中前期准备工程是核电站 FCD 正式开工前的阶段，土建工程和设备安装是核电建设中的阶段，两者均可以细分为核岛、常规岛以及 BOP 的施工和安装。一般而言，有关核岛的土建施工和安装难度最高，常规岛次之。

核电站核岛土建工程与设备安装呈现中国核建一家独大的竞争格局。核岛建设工程的难度与特殊性最高，一直以来几乎都被中国核工业建设集团有限公司一家垄断，其中子公司中核工业华兴建设有限公司主要负责核岛土建施工业务，中核二三建设有限公司负责核岛设备安装业务。中国核建是国内外唯一一家连续 30 余年不间断从事核电建造的企业集团，承担了我国大陆和出口的所有核电机组的建造任务，掌握了包括压水堆、重水堆、实验快中子堆、高温气冷堆等各种堆型、各种规格系列的核电建造能力，具备同时承担 40 台核电机组的建造资源和能力，中国核建正在承建的核电项目包括红沿河、徐大堡、昌江、防城港、福清、田湾、漳州、太平岭、三澳、以及巴基斯坦卡拉奇等 10 个项目共 18 台机组，是世界上在建机组数量最多的企业，**中国核建在市场中处于绝对主导地位**。另外，广东火电工程总公司参与部分核岛设备安装业务。

核电站常规岛土建工程与设备安装呈现多强并存的局面。在常规岛土建工程中，中国建筑第二工程局有限公司和中核工业华兴建设有限公司共同占据主导地位，中建二局参与承建了大亚湾核电站、岭澳一期、二期、台山、红沿河等多个核电站的常规岛土建工程；常规岛与辅助设备安装准入门槛相对较低，且与火电站相应工程相似度较高，各大型火电建设企业也纷纷想要分一杯羹，如广东火电工程公司、浙江火电建设公司等，广东火电工程公司先后承建了岭澳核电站常规岛设备安装、台山核电站常规岛及 BOP 安装、阳江核电厂常规岛及 BOP 安装、海南昌江核电站 1、2 号机组常规岛及 BOP 安装等工程任务，广东火电工程公司先后参建了泰山核电、方家山核电、三门核电等 14 台核电常规岛装机工程任务。

表 11：核电工程建设公司承建的主要项目

公司	土建施工	设备安装
中国核工业华兴建设有限公司	红沿河核电站一、二期、田湾核电站一、二期、 宁德核电站、阳江核电站、台山核电站、防城港 核电站、巴基斯坦恰希玛核电站、岭澳核电站一、 二期、大亚湾核电站、泰山核电站三期等	
中国核工业二三建设有限公司		防城港核电站核岛安装、台山核电站一期 1、2 号机组核 岛安装、福清核电站核岛和部分辅助系统 (BOP) 子项的

安装、方家山核电核岛安装、阳江核电站一期 1、2 号机组核岛安装、宁德核电站一期核岛安装、红沿河核电站核岛安装、在秦山二期扩建工程 3 号核电机组的核岛安装、岭澳一期、二期全部核岛设备的安装、田湾核电站核岛安装、秦山二期、三期核电站核岛安装、大亚湾核电站核岛安装、秦山核电站核岛及辅助系统（BOP）的安装等

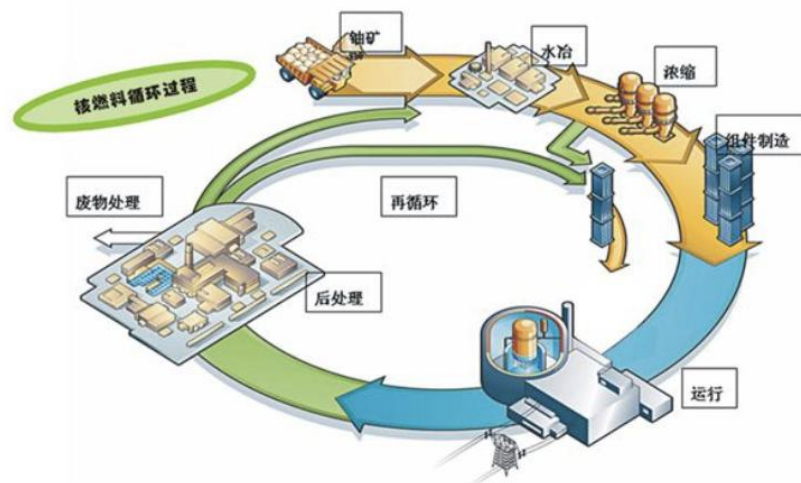
	台山核电站 2 号机组核岛土建、岭澳二期常规岛部分土建、	
中国建筑第二工程局有限公司	大亚湾、岭澳一期、二期常规岛部分土建、红沿河 1-4 号机组常规岛工程、台山 1、2 号机组常规岛工程	
广东火电工程有限公司	阳江核电站 6 号机组常规岛土建施工、岭澳核电站部分核岛主系统施工	岭澳核电站常规岛设备安装、核岛大件设备运输和吊装、台山核电站常规岛及辅助系统（BOP）安装、阳江核电厂部分核岛安装、阳江核电站 5、6 号机组的核岛安装工程、阳江核电站 6 号机组常规岛安装
浙江火电建设有限公司		秦山一期、二期、三期的常规岛安装、大亚湾核电厂核岛辅助管道安装、三门 1、2 号机组常规岛安装

资料来源：中核华兴、中核二三、中建二局、广东火电工程有限公司、浙江火电建设有限公司官网，国信证券经济研究所整理

核燃料供应：中核一家独大

核燃料循环是指核燃料进入反应堆前的制备和在反应堆中燃烧及以后处理的整个过程，包括铀的采矿、加工提纯、化学转化、同位素浓缩、燃料元件制造、元件在反应堆中使用、核燃料后处理、废物处理和处置等。

图 27：核燃料循环



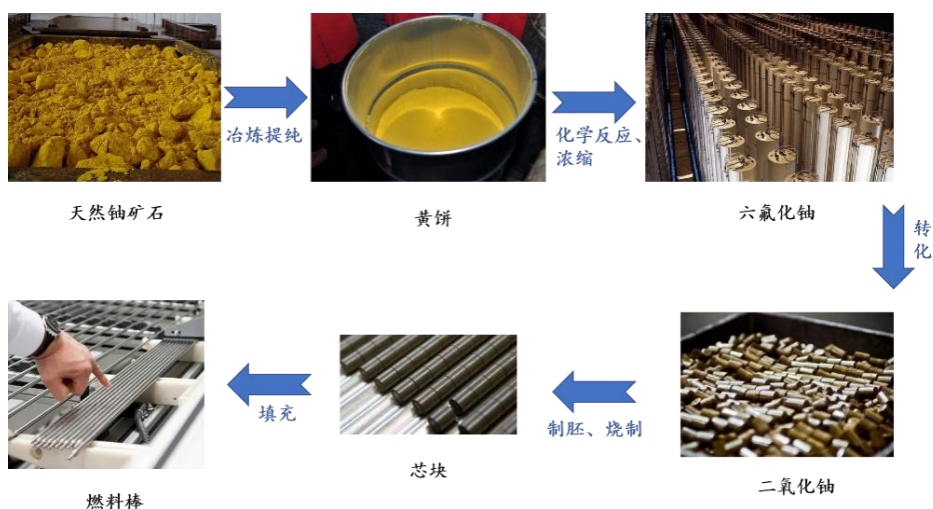
资料来源：北极星电力网，国信证券经济研究所整理

核燃料是指含有易裂变核素，能够在反应堆内实现自持链式核裂变反应的物质。它是核电机组持续输出电力的能量之源。当今核电站使用的核燃料主要是铀 235，且纯度需达到 3%（而铀 235 在天然铀中的含量仅为 0.71%），因此铀燃料的生产、

供应是核燃料的重点。天然铀是以矿石形式存在的，经过勘、探开采、水冶铀转化与浓缩等过程，最终送往核燃料加工厂制造，目前核燃料主要由中核下属的铀业公司进行制造。

由二氧化铀组成的燃料芯块是核燃料元件棒最核心的材料，是反应产生热量的主要原料。铀矿石经过水冶厂冶炼提纯后，得出铀矿粉俗称黄饼，黄饼经过复杂化学反应和浓缩等步骤，将天然铀中丰度 0.7%左右的铀 235，逐步浓缩到 4.5%左右，这个过程是以六氟化铀形式存在的。六氟化铀再次经过转化，变成二氧化铀，然后经过制胚、在摄氏 1750 度的高温下的氢还原环境中烧制 20 个小时烧制成二氧化铀陶瓷，也就是所谓的核燃料（芯块）了，燃料芯块，按照一定要求装入锆管中，加上相应附件，封装后就成了燃料棒。

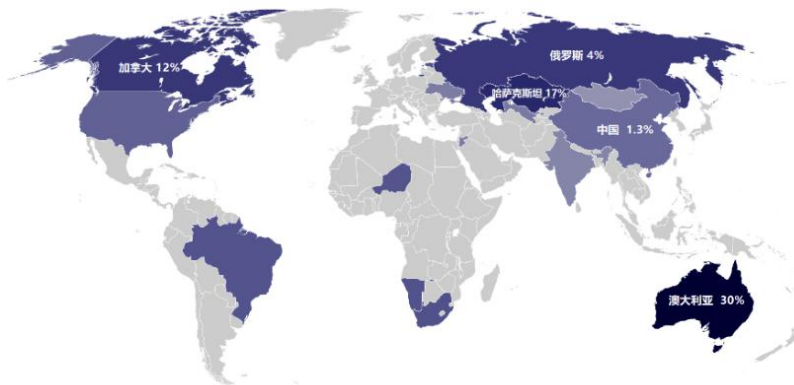
图 28：核燃料制造



资料来源：环境保护西北核与辐射安全监督站网站，国信证券经济研究所整理

我国铀矿主要依赖进口。我国铀矿勘查程度较低，探明有限，我国的已经发现的铀资源并不丰富，仅占全球 1.3%，大量的铀资源需要进口。近年来，随着铀矿勘察的不断深入，临近的蒙古、哈萨克斯坦跟中国的边境地区都发现大量的铀矿矿床，说明了我国铀矿资源潜在总量较大，前景广阔。一般情况下，铀矿从勘探到开采周期很长，地质勘探从普查到详查再到正式提交储量，需 10 年左右时间，而此后的矿山建设还需要 4 年左右时间。随着我国天然铀矿需求的逐年上升，中期内中国对铀矿的需求缺口巨大。

图29: 世界铀矿资源分布



资料来源: 国际原子能机构、维基百科, 国信证券经济研究所整理

表12: 我国天然铀供应预测 (单位: 吨)

年份	国内产能	中核海外开发 (尼日尔、纳米比亚、蒙古)	中广核海外开发 (哈萨克斯坦、纳米比亚)	合计产量	天然铀需求	缺口
2025	5000	1100	5500	11600	185000	6900
2030	5500	1100	6500	13100	22400	10900

资料来源: 中国核动力设计研究院, 国信证券经济研究所整理

铀矿供给国内采矿中核独大、中广核海外采矿量领先。2018年以前, 我国的铀矿资源由政府严格把控, 即便是对国内企业的资质要求都非常严格, 进入该领域者寥寥无几。长期以来, 中核集团在国内铀矿勘察、开采方面一家独大, 中国唯一的完整的核燃料循环产业体系。其子公司中国核燃料有限公司是中国最主要的核燃料生产商、供应商、服务商, 并为我国所有投运核电站提供优质的核燃料。

表13: 中国核燃料有限公司主要业务介绍

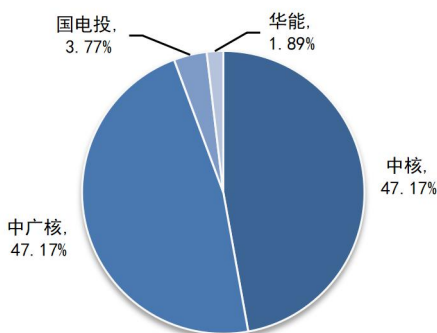
主要业务	业务介绍	生产能力
铀纯化	从铀矿浓缩物到天然二氧化铀的生产过程	“十二五”末, 将达到1.1万 tU/a的生产能力
铀转化	从天然二氧化铀到核纯天然 UF ₆ 的生产过程	
铀浓缩	通过同位素分离, 使铀-235 含量高于它在天然铀中的相对含量 (0.711%)	可生产 1.8%-5.0% 之中的任意丰度产品
AP1000 型压水堆核电燃料元件	IFBA 芯块制备/燃料棒制造/零部件制造 (格架、导向管组件、缓冲管组件)、骨架制造、燃料组件组装、堆芯相关组件制造	供货对象包括三门电站和海阳电站的 1#、2# 反应堆, 广东陆丰、辽宁徐大堡等
AFA3G 压水堆核电燃料元件	化工转化工艺、燃料芯块制备工艺、燃料棒组装工艺、骨架组装工艺、燃料组件组装工艺、零部件加工工艺	基本具备年产 200TU 的生产能力
重水堆核电燃料元件	化工转化和纯化制备二氧化铀粉末、粉末冶金制备陶瓷二氧化铀芯块、燃料棒束组装以及辅助动力供给系统	设计生产能力为年产 200 吨铀 (约 10400-10600 个核燃料棒束)
高温气冷堆核燃料元件	化工转化、核芯制备、包覆颗粒制备、球形燃料元件制备、基体石墨粉制备以及废液处理和固体废料回收	设计生产能力为年产 30 万个燃烧球

资料来源: 中国能源报、北极星核电网、国信证券经济研究所整理

核电站运营：中广核、中核二分天下

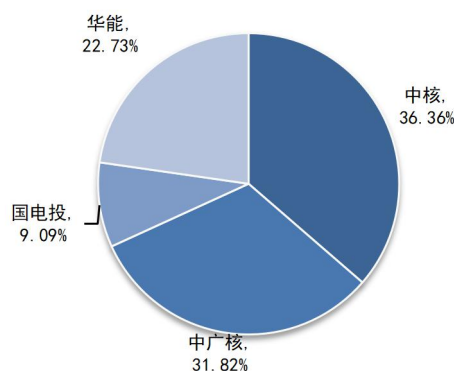
我国核电站运营主要由中广核、中核二分天下。截止 2022 年 02 月，我国已运营的核电机组共 53 台，大部分分布在广东、福建、浙江、广西等沿海地区。其中，中广核管理在运核电反应堆 25 座，中核管理在运核电反应堆 25 座，同时国电投资管理在运核电反应堆 2 台，华能 1 台；此外，我国共有在建核电反应堆数 19 座，分布在沿海地区。其中，中广核管理在建核电反应堆 7 座，中核管理在建核电反应堆 8 座（包括 2 台快堆、1 台小堆），国电投资管理在建核电反应堆 2 台、华能管理在建核电反应堆 2 台。总体来看，核电开发运营市场，中核、中广核呈现双寡头垄断格局。

图 30：已运营核电机组市场份额



资料来源：IAEA，国信证券经济研究所整理

图 31：在建核电机组市场份额



资料来源：IAEA，国信证券经济研究所整理

预计 2022-2027 年，核电运营商新增上网电量 CAGR 约 4%-6%。核电建设周期通常为 5 年左右，因此可以根据目前在建机组的开工时间推算出未来每年新投产核电数量，进而测算核电运营商新增上网电量。根据目前在建（不包括快堆、小堆）和已审批但未开工机组（徐大堡 4#预计 2022 年开工）测算，假设：1）新增商运机组的装机容量平均为 1200MWe；2）核电利用小时数取 2021 年平均值 7778 小时；3）由于新商运机组年内投产时间不确定，假设新商运机组当年投产 50%；4）上网电量与发电量比值取 2021 在运机组平均值 0.94。根据目前在建机组预期商运时间可以算出，2022-2027 年，中国核电总上网电量 CAGR 为 5.16%，中国广核总上网电量 CAGR 为 4.54%。

表 14：中国核电、中国广核 2022-2027 年核电上网电量预测

	2021	2022E	2023E	2024E	2025E	2026E	2027E
商运新增机组	1.00	2.00	0.00	1.00	1.00	2.00	1.00
新增控股装机容量 (MWe)		2400.00	0.00	1200.00	1200.00	2400.00	1200.00
利用小时数		7778.00	7778.00	7778.00	7778.00	7778.00	7778.00
新增发电量 (亿千瓦时)		186.67	0.00	93.34	93.34	186.67	93.34
新增上网电量 (亿千瓦时)		175.47	0.00	87.74	87.74	175.47	87.74
核电总上网电量 (亿千瓦时)	2011.51	2143.11	2230.85	2274.72	2362.45	2494.06	2625.66
同比增速		6.54%	4.09%	1.97%	3.86%	5.57%	5.28%
中 商运新增机组	2.00	1.00	0.00	1.00	1.00	2.00	2.00
国 新增控股装机容量 (MWe)		1200.00	0.00	1200.00	1200.00	2400.00	2400.00
核 利用小时数		7778.00	7778.00	7778.00	7778.00	7778.00	7778.00

电	新增发电量(亿千瓦时)	93.34	0.00	93.34	93.34	186.67	186.67
	新增上网电量(亿千瓦时)	87.74	0.00	87.74	87.74	175.47	175.47
	核电总上网电量(亿千瓦时)	1617.26	1748.86	1748.86	1792.73	1880.47	2012.07
	同比增速	8.14%	0.00%	2.51%	4.89%	7.00%	8.72%

资料来源：中国核能行业协会、中国广核公告、中国核电公告，国信证券经济研究所整理

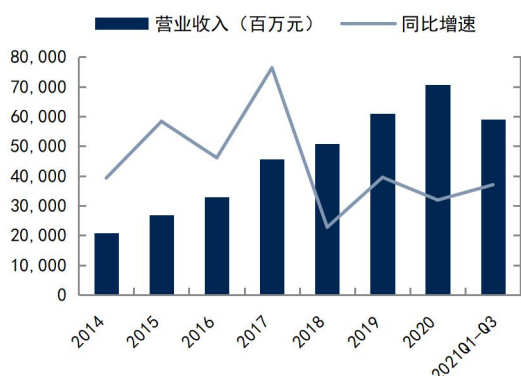
核电运营商具有收入增长持续性强，现金流充沛的特点。收入方面，核电运营商的收入主要来自于电力销售，电力销售一部分来自于在运机组持续发电，另一部分是新投产机组带来的增量。我国核电基本遵循“多发、满发”原则，机组投产后，上网电量基本维持稳定，因此核电运营来自于在运机组的收入较为稳定，基本不受行业周期的影响，而新机组不断投产又会给核电运营商带来持续的增长，因此核电运营商收入具备持续增长的特点。现金流方面，由于核电项目前期投入较大，因此投产后，折旧占营业成本比例较高，约40%，而火电仅在15%左右，因此，核电运营商具有现金流充沛的特点，中国核电和中国广核2014-2020年经营性活动现金与净利润的比在1-3之间波动。

图32：中国核电营业收入持续增长



资料来源：Wind，国信证券经济研究所整理

图33：中国广核营业收入持续增长



资料来源：Wind，国信证券经济研究所整理

图34：中国核电、华能国际折旧占营业成本比例



资料来源：Wind，国信证券经济研究所整理

图35：中国核电经营性现金流充沛



资料来源：Wind，国信证券经济研究所整理

图36：中国广核经营性现金流充沛



资料来源：Wind，国信证券经济研究所整理

核电废物后处理市场打开新增长空间

核废料泛指在核燃料生产、加工和核反应堆用过的不再需要的并具有放射性的废料。核废料有放射性、热能释放等特点，如不妥善处理，会严重影响人体及周边环境。按照比活度可以分为高、中低放射性核废料。

表15：核废料分类

分类	数量占比	辐射含量占比	来源	处理办法
高放射性废料	3%	95%	反应堆芯中燃烧后的核燃料	开放式核燃料循环：在堆堆存放后直接深地质长期暂存 闭式核燃料循环：回收铀、钚再加工成燃料组件进行重复利用，其他废物深层地质处理
中低放射性废料	97%	5%	核电站运行过程中产生的放射性废液、及固体废物等	水泥固化后装桶储存

资料来源：世界核能协会，国信证券经济研究所整理

中低废料由于产生量巨大，在其处理的过程中最关键的问题是如何在安全处理的前提下实现废物最小化。控制放射性废物产生（即废物最少化）是国际原子能机构（IAEA）在放射性废物管理原则提到的九条基本原则之一。放射性废物最小化是核电站安全运行和环境管理体系的重要组成部分，可以降低核电站废物处理和处置费用。核电站中低放射性废物可分为废气、废液和废固，其中废气和废液在处理达标后可直接排放，固体废物通过减容、包装后临时库内存放不超过5年，需送往中低放废物处置场进行处置。因此，可实现废物高减容比的先进核废物后处理系统设备和新的中低放废物处置厂是核废后处理市场的主要增量空间。

图 37: 核电厂中低废处理



资料来源：中国核网，国信证券经济研究所整理

我国对中低放废料采取“区域处置”策略，使得处置场靠近废料生产地，但至今并未有真正意义上的核电厂低放废物区域处置场。2003 年公布“中华人民共和国放射性污染防治法”明确提出中、低放射性固体废物在符合国家规定的区域实行近地表处理。中国规划建设西南、西北、华东、华南、北方五个中低放废物区域处置场，根据核电站的中低放废物产量和区域分布，现已建成的有 3 个处置场。位于西北地区的甘肃 404 厂处置场，规划容量 20 万立方米，已建成 2 万立方米容量，主要接收军工废物及核电厂的少量废物；西南地区的四川飞凤山处置场，规划容量 8 万立方米，已建成 0.88 万立方米容量，主要用于接收 821 厂退役产生的低放废物和本省废物；华南地区的广东大亚湾北龙处置场，规划容量 18 万立方米，已建成 2 万立方米容量，主要接收大亚湾核电基地的废物，目前仅作为一个临时储存库。

表 16: 中低放处置厂介绍

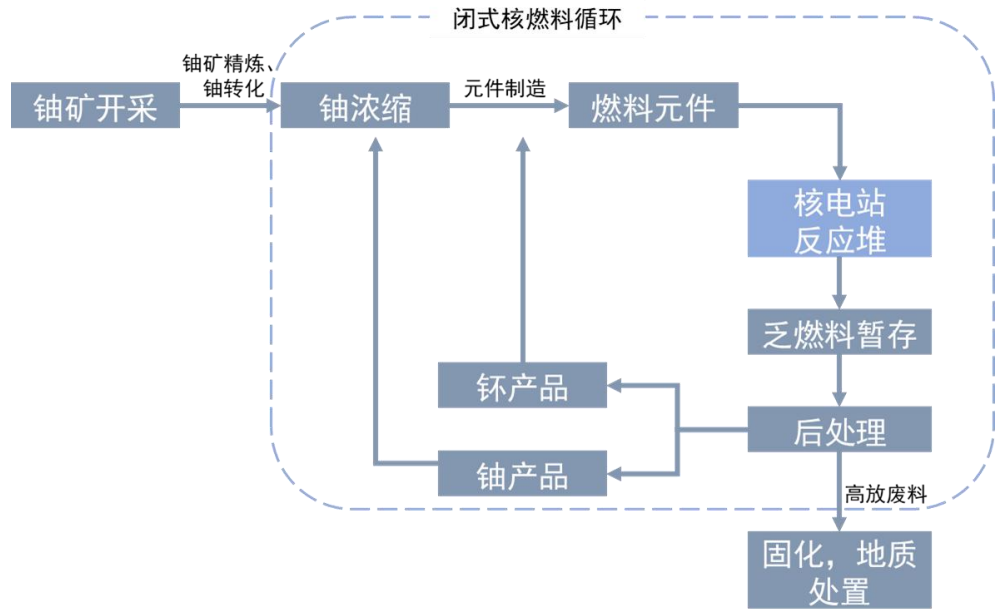
名称	位置	持证单位	已建成/规划容量(万 m ³)	备注
西北处置场 (404 厂)	甘肃	中核清原	2/20	接收军工类核废，一期处置能力 6 万 m ³ (最终处置能力 20 万 m ³)，规划 18 个处置单元，容许总比活度 3.2*10 ¹⁶ Bq
华南处置场 (北龙处置场)	广东	广东大亚湾核电	0.88/8	主要接收大亚湾、岭澳中低废，规划 70 个处置单元，17*17*7 m ³ 处置单元为整体钢筋混凝土独立式处置单元，容许总比活度 5.4*10 ¹⁵ Bq
西南处置场 (飞凤山处置场)	四川	中核清原	2/18	接收四川省内中低废，2016 年 5 月获运行资质

资料来源：国家核安全局、中华人民共和国生态环境部，国信证券经济研究所整理

高放废料又称乏燃料，在核废料中占约 3%，辐射量却占总量的 95%，其处置方式分两种：1) 开放式核燃料循环，将乏燃料作为放射性废物直接最终处理；2) 闭式核燃料循环：从乏燃料中回收的铀、钚等易裂变材料加工制成核燃料组件，提

高燃料使用率，其他废物做深地质处理。

图 38: 闭式核燃料循环

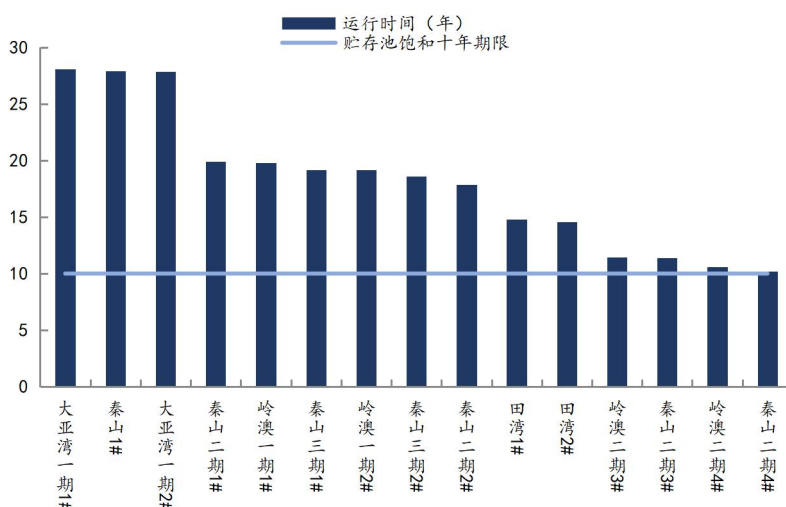


资料来源：中国核电网，国信证券经济研究所整理

我国已规划闭式核燃料循环为核废料后处理发展策略，高放射性废料主要以堆内贮存池暂存和离堆贮存为主，目前国内尚无高放射核废料处置库。2019年5月6日，我国正式批复关于北山高放废物地质处置的地下实验室工程建设立项书，标志着我国高放废物地质处置正式进入地下实验室阶段。2021年6月，北山高放废物地质处置地下实验室正式开工，中核集团核工业北京地质研究院负责设计建造，其建成后将成为世界上规模最大、功能最全的地下实验室。此外，2021年10月12日，国际原子能机构首个高放废物地质处置协作中心在中国成立，指定中核集团核工业北京地质研究院为“国际原子能机构高放废物地质处置协作中心”。

堆内、堆外贮存空间告急，乏燃料运输和处理需求迫切。核电站发电产生的乏燃料一般会先在核电站的贮存水池（堆内）存放一段时间，然后运送至后处理贮存或进行乏燃料分解处理。我国核电站的堆内贮存水池是按照存储10年乏燃料设计，截止2022年02月28日，我国已有15台核电机组运行超过10年，其堆内贮存池将饱和，目前新产生的乏燃料处理有两种临时储存方式和一种永久处置方式：1) 临时储存在核电站的硼水池：从容量上看，核电站内存储的设计年限约为5-10年，目前商运较早的部分核电站乏燃料水池已经饱和，现实情况会转运到临近核电机组的乏燃料水池进行储存，以大亚湾核电站为例，1994年商运的大亚湾核电站1、2号机组多余部分乏燃料组件已转运至岭澳3、4号机组储存，但这个也面临临近核电机组乏燃料贮存水池都将饱和的问题；2) 中间贮存接收设施储存：目前中核四零四厂的乏燃料湿法贮存水池是我国唯一的中间贮存接收设施，其储存能力达500吨的离堆贮存水池已经饱和，新建了一座800吨贮存水池，目前正在运行，但储存能力仍无法满足国内核电需求；3) 乏燃料处理厂进行处理：我国目前仅有中核四零四厂从2010年以后具备约50吨每年的乏燃料处理能力。

图39: 截止 2022 年 2 月, 15 台机组有乏燃料离堆贮存需求



资料来源: IAEA, 国信证券经济研究所整理

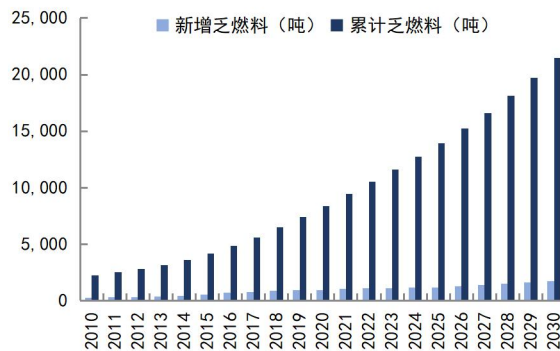
从长期趋势看, 预计离堆贮存需求量将快速增长, 2025 年突破临界点。按照当前在运、在建机组估算, 2025 年预计全国在运核电机组装机量约 6225 万千瓦。按照每一个百万级核电机组每年产生 20 吨乏燃料计算, 假设每台百万千瓦级核电机组自身可存储 10 年容量, 预计 2025 年将产生约 1180 余吨乏燃料, 累计 13940 吨。当年新增需离堆贮存的乏燃料约 560 吨, 累计 4160 吨; 预计到 2030 年, 当年新增需离堆贮存乏燃料达 960 余吨, 累计 8380 吨; 预计至 2035 年, 这一数据将增加至 1180 吨和 13940 吨。目前产生的乏燃料贮存缺口一般通过转运在临近建成未满 10 年的核电站进行储存, 即使考虑全国所有核电站容量均可统一调度, 叠加中核四零四厂具备 1300 吨乏燃料临时存储能力以及 2011 年起具备 50 吨的年处理能力, 预计到 2025 乏燃料累计生产量超过乏燃料总贮存量 (13850 吨), 突破临界状态, 多余乏燃料再无可存放之处。无论从短期和长期来看, 乏燃料后处理都已迫在眉睫。

图40: 核电在运机组装机量预测 (万千瓦)



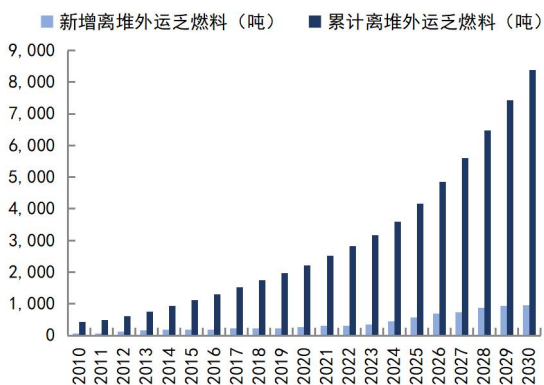
资料来源: IAEA, 国信证券经济研究所整理

图41: 乏燃料年产量, 累计量递增



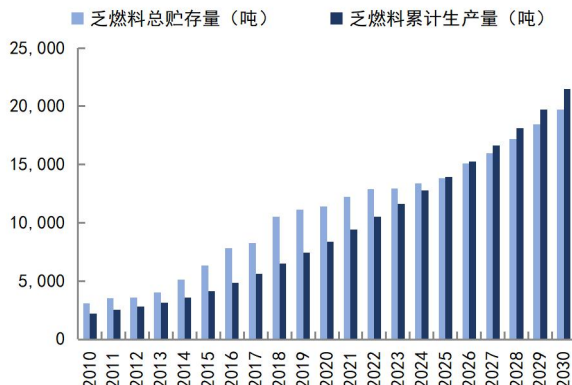
资料来源: IAEA、中国核电网, 国信证券经济研究所整理

图42: 乏燃料新增外运量、累计外运量



资料来源: IAEA、中国核电网, 国信证券经济研究所整理

图43: 乏燃料储存预计 2025 年突破临界点



资料来源: IAEA、中国核电网, 国信证券经济研究所整理

要解决此问题, 需要从三个方面入手。一是乏燃料后处理厂的建设: 需要有足够处理能力的乏燃料后处理厂不断对乏燃料进行处理, 将其转化为可回收的核燃料和便于后段处理的放废料, 而目前我国仅有中核 404 厂具备年均处理 50 吨乏燃料的能力, 远远无法满足乏燃料的处理需要; 二是乏燃料离堆贮存接收设施的建设: 需要在目前不具备大量乏燃料处理能力, 能保证有足够的地方储存新增的离堆乏燃料; 三是乏燃料运输能力的建设: 乏燃料都是具有高放射性, 对人体和环境危害极大, 需要有专门的运输容器对其进行贮存然后再运输至离堆贮存接收设施或乏燃料后处理厂进行处理。

从乏燃料后处理厂的规划来看, 后续主要有两个乏燃料后处理厂的建设项目。其一是建设 2 个具有自主知识产权的年处理能力达 200 吨的大型商用乏燃料后处理厂, 目前第一个 200 吨乏燃料处理厂 (单厂投资 250-300 亿元) 正在建设, 预计 2025 年运行, 第二个 200 吨乏燃料处理厂项目正在推进中; 其二是 2018 年 1 月 9 日, 中核集团拟与法国阿海珐集团签署大型商业后处理-再循环工程项目, 建成后将具备 800 吨的乏燃料年处理能力和 3000 吨的离堆贮存能力, 整个核电后处理厂的投资估计超千亿元。

从乏燃料运输方面来看, 目前我国乏燃料运输方式有公路运输、铁路运输、海运三种方式, 但以公路汽车运输为主, 铁路和海路运输处于起步阶段。2019 年 5 月 31, 交通运输部组织起草了《乏燃料运输管理办法》, 在 2003 年颁布的《核反应堆乏燃料道路运输管理暂行规定》基础上, 增加了关于乏燃料铁路、海运, 以及公海铁联运的相关要求。

我国乏燃料运输能力极为有限。公路运输方面, 道路运输呈现运输里程长, 专业队伍少, 运力不足等特点。我国的核电厂分布于东部沿海, 身处甘肃的中核四零四厂是唯一离堆贮存地, 运输里程近在三至四千公里, 具有运输乏燃料资质的公司只有中核旗下的清原环境技术工程公司和华茂物流, 运输周期为 3 个月/次, 受冰冻台风天气影响, 每年能完成两次运输。目前, 公路运输能力为 104 组/年, 运力难以匹配外运需求, 乏燃料运输容器的设计和制造成为关键问题。目前法国、美国、日本、德国几个核电大国乏燃料运输容器设计和制造技术已成熟, 现已形成系列化产品, 在研制方面以百吨级别大容器为主, 单棒小型容器为辅。在发展趋势上, 以兼存储和运输功能为一体的多用途容器为发展方向。国内已在此方面有所布局, 2021 年 6 月 30 日, 我国自主研发的百吨级乏燃料运输容器——CNSC

乏燃料运输容器成功下线，即将投入使用。**海运方面**，2020年12月9日，我国自主研发的INF3级乏燃料运输专用船交付使用，标志着我国乏燃料运输已经具备海运能力。**铁路运输方面**，2020年11月27日，我国自主制造的13辆百吨级乏燃料货包铁路运输车辆——D15B型凹底平车顺利交车下线，成为国内首批用于乏燃料运输的铁路车辆。

我国乏燃料运输容器的市场潜在空间广阔。根据生态环境部办公厅2021年04月发布的《钢制乏燃料运输容器制造通用技术要求（征求意见稿）》预测，2025年前，我国需要新增乏燃料运输容器23台；2025年后，随着乏燃料累计生产量超过乏燃料总贮存量，大批核电站乏燃料组件的外运需求快速增加，还需新增乏燃料运输容器49台，乏燃料运输容器总的需求数量达到79台。因此，我国乏燃料运输容器的潜在较大空间，预测2025年前整个乏燃料运输容器设备市场规模近百亿元。

核电发展趋势：核废料后处理市场广阔，积极发展四代核技术、小型堆、核能综合利用

趋势一：核废料贮存、处理市场空间广阔

堆内、堆外贮存空间告急，乏燃料贮存和处理需求迫切。按照当前在运、在建机组估算，预计 2025 年将产生约 1180 余吨乏燃料，当年新增需离堆贮存的乏燃料约 560 吨，累计 4160 吨，预计到 2025 年将面临多余乏燃料再无可存放之处，乏燃料后处理已迫在眉睫。我国在“十四五”规划中明确提出要建设中低放废物处置场，建设乏燃料后处理厂，同时国家核安全局发布核安全导则《乏燃料后处理设施安全》，预期未来核废料处理市场成长空间广阔。详细核废料测算及介绍见本文“核电废物后处理市场打开新增长空间”部分。

趋势二：第四代核电指明发展方向，中国高温气冷堆已正式商运

第四代核电反应堆是未来发展趋势，更安全、更经济、更好的防核扩散性及可持续性。第四代核反应堆系统是在 1996 年美国核安全年会上提出的新一代核电系统，该系统的研发目标是能够解决核能的经济性、安全性、废物处理和防止扩散问题。2001 年 1 月，在美国能源部的倡议下，美国、英国等 10 国成立了第四代先进核能系统国际合作研发论坛(Generation IV International Forum, GIF)，致力于研发可持续利用的、清洁的、安全的、经济的第四代核电技术；2002 年底，GIF 筛选了六种堆型作为第四代核能系统的推荐机型，即超高温堆（VHTR）、钠冷快堆（SFR）、超临界水堆（SCWR）、铅冷快堆（LFR）、气冷快堆（GFR）和熔盐堆（MSR）。2007 年 11 月中国成为 GIF 的成员国之一。

超高温堆能够提供最高的出口温度，它不仅可以用于发电，还能用于制氢、石油化工等各种工业用热源。其包括两种堆型，一是高温气冷堆（HTGR），另一种是高温熔盐冷却堆（先进高温堆 AHTR）。高温气冷堆以氦气作为堆芯冷却剂，由于氦气载热性能较低，因此气冷堆堆芯功率密度低。高温熔盐冷却堆（先进高温堆 AHTR）概念由美国提出，它采用高温熔盐作为堆芯冷却剂，其载热性能好，允许很高的堆芯功率密度。

钠冷快堆（SFR）是 GIF 推荐的第 IV 代 6 种堆型中发展时间最长，技术最成熟的堆型。世界上很多国家，包括中国、法国、日本、德国、英国、俄罗斯和美国等都拥有 SFR 建造和运行经验。该堆型可提高铀利用率 60%，同时降低核废料的产生量，从而降低核废物产生。

超临界水堆（SCWR）的优势是在于继承现有轻水堆以及超临界火电技术的部分经验。SCWR 从堆芯结构上可以分为压力壳式和压力管式，压力壳式超临界水堆首先由日本开展较全面的研究，后来欧洲和美国也先后开展了大量的研究，压力壳式超临界堆研究是在压水堆和沸水堆的技术基础上开展的。压力管式超临界堆主要是加拿大和俄罗斯研究较多，其中具有代表性的是加拿大在其原来的 CANDU 堆基础上提出 CANDU-SCWR，其延续了 CANDU 堆重水慢化的特点。我国在近几年也开展了一些超临界水堆的研究工作。

铅冷快堆（LFR）是实现核能可持续发展的解决方案之一，主要有两种技术路线。两种都是池式设计：小型模块化 LFR，以美国开发的 SSTAR 为代表；中等规模的 LFR，如欧共体开发的欧洲铅冷系统（ELSY）。

气冷快堆（GFR）是采用氦气作为冷却剂的快中子反应堆。采用氦气作冷却剂可

以达到很高的堆芯出口温度（850℃），这使 GFR 具有发电、制氢及供热等多种用途，同时能保持很高的转换效率。GFR 不需要二回路，可以直接在一回路利用氦气轮机发电或通过热化学方法制氢。多数研究高温气冷堆的国家都开展了气冷快堆的研究。

熔盐堆最大特点是以液态形式的熔盐作为燃料，它不仅作为燃料在堆芯内达到临界发热，同时作为冷却剂通过流动将堆芯热量带出。目前国际上熔盐堆主要有三条技术路线：一是以美国 60 年代 MSBR 为代表的（包括日本 80 年代 FUJI 熔盐堆）石墨慢化增殖堆；二是近年来法国主导提出的 TMSR，它是堆芯没有石墨慢化的钍基熔盐快堆；三是俄罗斯主导研究的 MOSART，它以焚烧压水堆乏燃料的铀系元素为主要目的，也是无石墨慢化的熔盐快堆。我国中科院也于 2010 年宣布开始熔盐堆的研究。

表 17: 第四代核电技术分类

四代堆型	中子类型	冷却剂	燃料循环方式	原理及技术特点
超高温气冷堆 (VHTR)	热中子	氦气	一次	超高温反应堆运用石墨作为减速剂、一次性铀燃料循环、氦气或熔盐作为冷却剂。出口温度可达 1000° C，堆芯则采燃料束或球床式。借由热化学的硫碘循环，反应堆高温可用于产热或产氢。超高温反应堆具有非能动安全系统。
钠冷快堆 (SFR)	快中子	钠	闭式合成燃料束。	SFR 以液态钠冷却、钚铀合金为燃料。燃料装入铁护套中，并于护套层填入液态钠，再组闭式合成燃料束。使用液态金属取代水作为冷却剂可以降低钠与水接触会产生爆炸燃烧。SFR 的目的是增加铀滋生钚的效率和减少超铀元素同位素的累积，属于一种非能动安全系统。
超临界水冷堆 (SCWR)	热中子或快中子	水	一次/闭式环境，采取直接、一次性循环。	SCWR 使用超临界水作为工作流体。SCWR 是以轻水反应堆 (LWR) 为基础，运作于高温高压环境，具有较高的热效率与简单的设计结构，成为倍受关注的新式核反应堆系统。目前 SCWR 主要目标是降低发电成本。
气冷快堆 (GFR)	快中子	氦气	闭式物。	利用快中子、封闭式核燃料循环对增殖性材料进行高效核转换，并控制铀系元素核裂变产物。冷却剂为 850° C 的氦气。燃料可选择混和陶瓷燃料、先进燃料微粒或铀系化合物陶瓷护套燃料。堆芯燃料会以针状、盘状集束或柱状分布。

资料来源：世界核协会、维基百科、国信证券经济研究所整理，国信证券经济研究所整理

中国第四代核电在高温气冷堆、快堆及熔盐堆建设均处于世界先进水平。2011 年 7 月，中国原子能研发的中国实验快堆成功并网发电，其热功率为 65MW，电功率 20MW 采用钠-钠-水三回路设计，一回路为一体化池式结构，该项目是我国第一座快堆，该项目也使得中国成为世界第 8 个掌握快堆技术的国家；2012 年 12 月 9 日，山东石岛湾高温气冷堆开始建设，该项目是国内第一座高温气冷堆示范电站，也是世界上第一座具有第四代核能系统安全特征的 20 万千瓦级高温气冷堆核电站，**2021 年 12 月，石岛湾高温气冷堆正式商运。**2017 年 12 月，示范快堆工程霞浦 1#机组在福建霞浦开工建设，2021 年 2 月，霞浦 2#机组开工建设。此外，中国中科院已系统掌握了钍基熔盐堆的系列关键技术，2018 年 9 月，位于甘肃威武的钍基熔盐堆核能系统项目开工建设，2021 年 5 月主体工程基本完工，8 月底完成机电安装，9 月启动调试。

目前我国已掌握高温气冷堆的全部关键技术，高温气冷堆设备国产化率达 93.4%。高温气冷堆具有固有安全性、多功能用途、模块化建造的特点和优势。核心设备包括压力容器、蒸汽发生器、主氦风机等。其中主氦风机是新增设备，功能是在反应堆启动、功率运行和停堆等工况时，提供足够流量的氦气通过一回路系统，将反应堆芯产品的热量带走，类似三代核电主泵，目前主要供应商为佳电股份。

表 18: 第四代核能系统六种推荐堆型

四代堆型	加拿大	欧盟	法国	日本	韩国	瑞士	美国	中国	南非
超高温气冷堆 (VHTR)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
气冷快堆 (GFR)		✓	✓	✓		✓			
钠冷快堆 (SFR)	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓	
超临界水冷堆 (SCWR)		✓		✓					
铅冷快堆 (LFR)		✓		✓					
熔盐堆 (MSR)		✓	✓					✓	

资料来源: WNA、科普网, 国信证券经济研究所整理

趋势三: 多用途模块式小型堆建设已拉开序幕

政策鼓励发展多用途模块式小型堆

我国政府高度重视小型堆核电研发工作, 积极推进小堆建设工作。2011 年以来, 国家先后印发了多份鼓励开展小堆研发及工程建设的政策文件。根据《能源技术创新“十三五”规划》, 开展小型堆的示范堆建设已被列入“十三五”的重点内容; 《2018 年能源工作指导意见》也强调了要深入推进高温气冷堆和模块化小型堆先进核电技术的试验示范工程建设; 在国家“十四五”规划中, 明确表示推动小型堆、海上浮动核电的发展; 2021 年 10 月, 国务院发布《2030 年前碳达峰行动方案》, 将发展积极推动高温气冷堆、快堆、模块化小型堆等列为碳达峰十大行动。

中核、中广核均已自主研发小堆技术, 具备建造实力。目前中核、中广核、中船重工、清华大学等已多方合作, 逐步形成并推出了中核 ACP100\ACP100S、中广核 ACPR 系列小堆。其中, 中核 ACP100(玲珑一号)已开启示范堆建设, 中广核 ACPR50S 小堆设备采购也已启动。

全球首个陆上商用模块化小堆项目已开工建设。2021 年 7 月 13 日, 海南昌江多用途模块式小型堆正式开工, 该小型堆采用中核“玲珑一号”技术, 单台机组容量为 12.5 万千瓦, 建成后年发电量可达 10 亿千瓦时, 满足 52.6 万户家庭生活用电需求, 预计 2026 年建成。模块式小型堆具有部署灵活、安全性高以及建设周期短的特点。可作为分布式能源使用, 供电的同时满足海水淡化、区域供暖等多种用途。

表 19: 国家政策助推小型堆发展

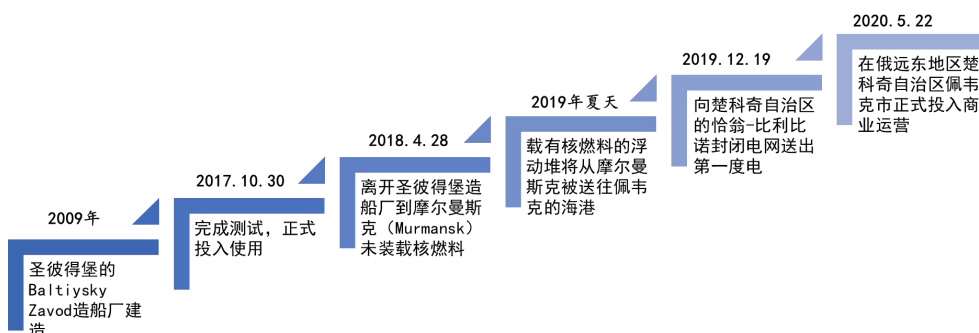
时间	政策	相关内容
2011 年 12 月	《国家能源科技“十二五”规划》	自主设计和建成模块化小型堆示范工程, 拥有自主知识产权, 形成推广能力; 开展多用途模块化小型堆以及聚变堆的技术研发。
2013 年 01 月	《能源发展“十二五”规划》	坚持热堆、快堆、聚变堆“三步走”技术路线, 以百万千瓦级先进压水堆为主, 积极发展高温气冷堆、商业快堆和小型堆等新技术。
2016 年 11 月	《电力发展“十三五”规划》	提高大型先进压水堆核电技术自主化程度, 推动温气冷堆升级开展小型智能堆、商用快堆、熔岩堆等先进核能技术研发。
2016 年 12 月	《能源技术创新“十三五”规	推广应用先进三代压水堆, 加快高温气冷堆、快堆、模块化小型堆的技术示范工程建设和

	划》	产业化；建设模块化小型堆和低温供热堆示范工程。
2018年03月	《2018年能源工作指导意见》	继续实施核电科技重大专项，建设核电技术装备试验平台共享体系，加快推进小型堆重大专项立项工作；深入推进高温气冷堆和模块化小型堆先进核电技术的试验示范工程建设。
2021年03月	《中华人民共和国国民经济和社会发展第十四个五年规划和2035年远景目标纲要》	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。
2021年10月	《2030年前碳达峰行动方案》	积极推动高温气冷堆、快堆、模块化小型堆、海上浮动堆等先进堆型示范工程，开展核能综合利用示范。

资料来源：中国能源局、中国政府网、中国发改委，国信证券经济研究所整理

全球首台海上小堆已正式商运。俄罗斯国家原子能公司（Rosatom）建造出全球首台海上浮动核电站，取名为“罗蒙诺索夫院士”号，自2009年开始在圣彼得堡的Baltiysky Zavod造船厂建造。该海上小堆专为北极和远东地区设计，其主要任务是为偏远的工业企业、港口城市以及海上油气平台提供电力。该浮动核电站已于2018年4月完成首次出海，2019年12月19日送出第一度电，2020年5月22日，俄罗斯国家原子能公司发表声明表示，该电站在俄远东地区楚科奇自治区佩韦克市正式投入商业运营。

图44：全球首台海上浮动核电站——“罗蒙诺索夫院士”发展历程



资料来源：Rosatom 官网，国信证券经济研究所整理

国内首个海上小堆项目启动。2018年1月，中核集团与烟台市政府签订了《海上清洁能源综合供给平台及泳池式低温供热堆项目合作协议》，准备建设首个海上清洁能源综合供给平台；2018年3月，中国核电、烟台市台海集团、烟台蓝天控股集团共同投资成立了“中核台海海上清洁能源(山东)有限公司”，标志着国内首个海上清洁能源综合供给平台建设将在烟台市开始实现工程化应用。

多用途模块式小型堆具有清洁、安全、用途广泛的特点

根据国际原子能机构（IAEA）的定义，小型堆是发电功率小于300兆瓦的核反应堆动力装置。可分为陆上小堆和海上小堆。陆上小堆是以成熟的大型陆上商用压水堆核电站为参考，研发的“缩小版”核电站。海上小堆是将“缩小版”的核电站安装在船舶上，结合成熟的海洋设施技术，开发出的满足最高核安全要求和海

洋用户需求的分布式海洋综合能源系统。

小堆除了具备核电清洁、供电稳定的优势，还具有高安全性、更灵活、用途更广泛的特点。

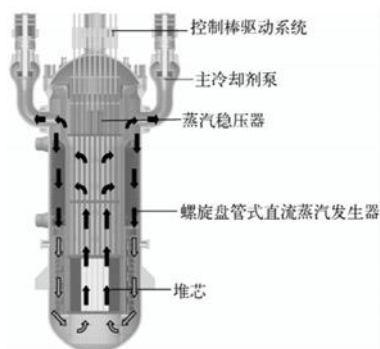
1) **高安全性**：从堆芯损坏概率来看，小型堆的安全水平已经达到或高于三代核能系统指标的要求。三代核电的堆芯损坏概率通常在 10^{-5} — 10^{-6} 堆年，而玲瓏一号的堆芯损坏概率为 1.2×10^{-7} 堆年，海上小堆 ACP100S 其堆芯损坏概率 $< 10^{-6}$ /堆年。

a、采用一体化、非能动设计：将蒸汽发生器、稳压器和冷却剂泵包容到反应堆压力容器的一体化布置简化了反应堆冷却剂系统，从根本上消除了一回路发生大破口失水事故的可能性，采用非能动安全系统在极端事故下可依靠自然力缓解事故后果，大大增强了核电站的安全性。

b、低功率和对外部事件抵御能力强：小堆功率低，停堆后的衰变热量少，燃料装量小，堆芯放射性少；陆上小堆可采用核岛地下布置的形式，能够提高对地震、海啸等外部事件的抵御能力。海上小堆的离岸设计使其受自然灾害影响小，地震波不会被海水传递。

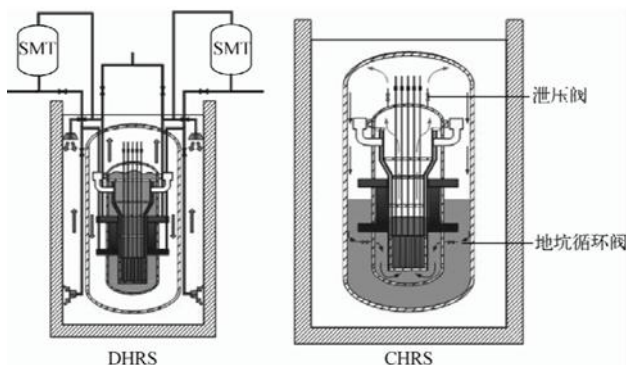
c、实行半潜/全潜式设计：浮动堆可将海水作为最终热阱引入船体内，阻止堆芯熔化进程，保证余热排出和放射性屏蔽。

图 45：冷却剂系统示意图



资料来源：《多用途小型堆 ACPR100 概念设计》，国信证券经济研究所整理

图 46：非能动安全系统配置示意图



资料来源：《多用途小型堆 ACPR100 概念设计》，国信证券经济研究所整理

2) **模块化设计、建造周期更短、更灵活**：小堆由于小型一体化设计，结构较大堆更简化，使得其建造周期远小于大堆，目前估计首批小堆机组建造周期约 3 年左右，后续还可进一步缩短到 2 年；同时采用模块化设计，各模块独立运行，可根据厂址的形状和大小自由组合安放，用更灵活的方式满足业主需求。

3) **用途更广泛**：可以为周边城市提供清洁、高效的供电、供气、供暖、海水淡化解决方案，有效缓解节能减排压力，促进能源结构调整，由于直接供热的热效率远高于供电的电效率，核能利用效率也可大大提高。

表 20：核电大堆和小堆比较

对比项	小堆（玲瓏一号 ACP100）	大堆（华龙一号）
堆芯融化概率	$< 10^{-6}$ /堆年	$< 10^{-6}$ /堆年
大量放射性释放概率	$< 10^{-7}$ /堆年	$< 10^{-7}$ /堆年。

电功率	125MW	1150MW
单位造价	25000 元/KW, 规模化后可降低 25%	约 16000 元/KW
换料周期	24 个月	18~24 个月
建造周期	首批机组 3 年, 逐渐缩短至 2 年	5 年-8 年
自然灾害 (地震海啸)	采用核岛地下布置的形式或离岸设计, 地震等自然灾害影响小	选址远离地震带
应用	供电、供热、海水淡化等	供电

资料来源: 中国能源报, 北极星核电网, 国信证券经济研究所整理

趋势四: 政策支持+技术进步推动核能综合利用

国家政策推动核能综合利用。2016 年 6 月, 国家发展改革委、国家能源局在《能源技术革命创新行动计划 (2016—2030 年)》提出我国将持续完善核能领域研发, 支持小型模块化堆、核能制氢等领域的研究工作; 2017 年 7 月, 国家发改委印发《北方地区冬季清洁取暖规划 (2017—2021 年)》明确提出推动现役核电周边供热。2021 年 3 月, “十四五”规划中提出要开展山东海阳等核能综合利用示范, 2021 年 10 月, 在两个关于碳达峰的政策中均明确表示要推进核能综合利用。支持核能综合利用政策密度逐渐增加, 由此可见, 核能综合利用的受关注程度在逐步增加。

表 21: 国家政策推动核能综合利用

时间	政策	相关内容
2016 年 6 月	《能源技术革命创新行动计划 (2016-2030 年)》	研究基于可再生能源及先进核能的制氢技术。
2017 年 12 月	《北方地区冬季清洁取暖规划 (2017—2021 年)》	明确提出研究探索核能供热, 推动现役核电机组向周边供热, 安全发展供暖示范。
2021 年 03 月	《国民经济和社会发展第十四个五年规划和 2035 年远景目标纲要》	开展山东海阳等核能综合利用示范。
2021 年 10 月	《中共中央国务院关于完整准确全面贯彻新发展理念做好碳达峰碳中和工作的意见》	在北方城镇加快推进热电联产集中供暖, 加快工业余热供暖规模化发展, 积极稳妥推进核电余热供暖。
2021 年 10 月	《2030 年前碳达峰行动方案》	合理确定核电站布局和开发时序, 在确保安全的前提下有序发展核电, 保持平稳建设节奏。积极推动高温气冷堆、快堆、模块化小型堆、海上浮动堆等先进堆型示范工程, 开展核能综合利用示范

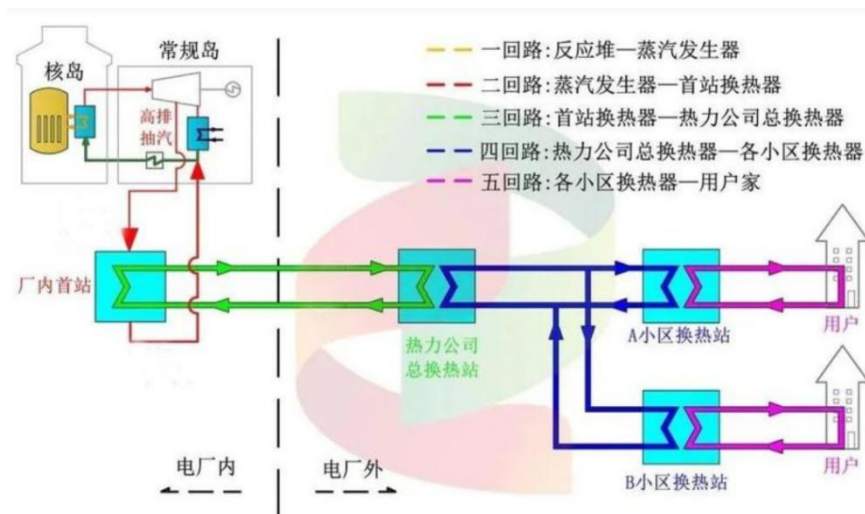
资料来源: 国家能源局, 中国发改委, 中国政府网, 国信证券经济研究所整理

首个国内核能供热项目已成功投产, 小型堆发展进一步推动核能供热

海阳核电供热开启了我国核能综合利用的序幕。2019 年 11 月海阳核电核能供热项目一期工程第一阶段投用, 正式向山东核电员工倒班宿舍、海阳部分居民小区在内的 70 万平方米供热。2021 年 11 月, 海阳核电 450 万平方米二期项目也正式投产, 至此, 核能供暖覆盖了整个海阳城区的 20 万居民, 海阳成为全国首座零碳供暖城市。海阳核电的热电联产, 替代了当地 12 台燃煤锅炉, 预计在整个供暖季节约原煤 10 万吨, 减少二氧化碳排放 18 万吨、烟尘 691 吨、氮氧化物 1123 吨、二氧化硫 1188 吨, 有效的改善海阳市的大气环境。海阳核电热电联产开启了我国核能综合利用的序幕。

五个回路进行换热，核电供暖安全性高。核电供暖指从核电机组抽取高压缸排汽作为热源，通过五次换热，将热量传给用户。五次换热分别是：1) 蒸汽发生器：一回路将反应堆产生的热量传递给二回路水，形成高压蒸汽；2) 厂内换热首站：二回路的高温蒸汽在场内换热站将热量传递给三回路；3) 厂外供热企业换热站：三回路高温水将通过厂外热企的换热站将热量传递至四回路；4) 小区换热站：四回路高温水通过小区换热站将热量传递至五回路；5) 用户家：五回路流经用户家，对用户进行供暖。目前国内压水堆核电站一、二回路介质完全隔离，因此在整个供暖回路中只存在热交换，不存在任何介质传送，核电供热有足够高的安全性。

图47：核电供热原理图



资料来源：北极星电力新闻网，国信证券经济研究所整理

小型堆、低温堆等技术发展有望进一步推动核电供热。目前可实现的核电供热方式有两种：1) 大型核电厂实现热电联供；2) 在供暖区建设小型反应堆进行供热。目前大型堆长距离、大温差供热仍存在一定的经济性问题，因此第一种方式对于供热区域有一定的限制，主要在现有大型核电站周边。小型堆实现批量化建设后具有初投资低、建造周期短、选址灵活高等特点，同时小堆安全性更高、应急要求简化，适合供热。目前小型堆研发应用已成为国内外的趋势，预期未来会进一步推动核能供热。此外，低温堆供热也在积极研发中。中核集团推出了“燕龙”泳池式低温供热堆，中广核集团和清华大研发了壳式低温供热堆，国家电投提出了微压供热堆，目前这些项目已经在黑龙江、吉林、辽宁、河北等多个地区开启选址等相关工作。

海水淡化规模有望进一步扩大，四代核电技术助力核能制氢

利用核能进行海水淡化规模有望进一步扩大。除了核能供热，海水淡化、核能制氢也是核能综合利用的重要领域。海水淡化是利用热能或电能，通过蒸发、膜分离等技术将海水中的盐分分离处理，从而获得淡水。由于使用的是电能或热能，因此能够与核电技术相耦合。目前，海水淡化已在部分核电厂进行小规模运行，其中红沿河核电站、宁德核电站、三门核电站、海阳核电站、田湾核电站均使用海水淡化为厂区内提供淡水。未来利用核能进行海水淡化规模有望进一步扩大，山东核电预期建成年产 3000 万吨—1 亿吨淡水供应能力的海水淡化工程。目前，产能为 10 万吨/天的一期项目已经完成可行性研究等前期工作。

第四代核电技术助力核能制氢发展。氢是清洁能源，有着广泛的应用领域，但氢是二次能源，需要利用一次能源来生产。目前核能制氢主要有两种途径：热化学循环制氢和高温电解制氢。两种技术均需要热源，而第四代核反应堆的出口温度超过 700℃，可以满足两种技术的制氢需求。目前，我国第四代核反应堆——石岛湾高温气冷堆已试运行，具备核能制氢条件，同时也将核能制氢技术的研究也列为专项的研发项目，未来在核能制氢有望得到进一步发展。此外，美国、日本、法国、加拿大等也在持续开展核能制氢技术的研究。

投资策略：看好核电设备细分领域的龙头设备企业

国家发展核电态度积极明确，核电景气持续向好，批量化建设+核废物后处理打开核电成长空间。我们看好核电细分领域市占率高、核电业务占比高的公司，设备环节重点关注：江苏神通、应流股份、中密控股。

江苏神通：核电蝶阀、球阀垄断，乏燃料处理市场打开新空间

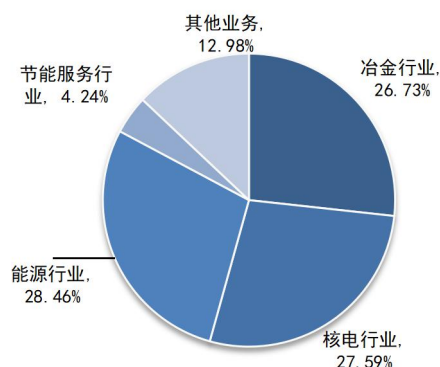
国内阀门行业领先企业，积极推动产业转型升级。公司的主营业务为研发、生产和销售应用于冶金领域的特种阀门、法兰，应用于核电站的核级蝶阀、核级球阀、核级法兰和锻件、非核级蝶阀、非核级球阀及其配套设备，以及应用于煤化工、超（超）临界火电、LNG 超低温阀门和石油石化专用阀门和法兰及锻件。按行业来看，公司主要产品应用领域可划分为冶金行业、核电行业、能源行业等，营收占比分别为 26.73%、27.59%、28.46%。

图 48：江苏神通主要产品



资料来源：江苏神通官网，国信证券经济研究所整理

图49: 2020 公司主营构成 (按行业)

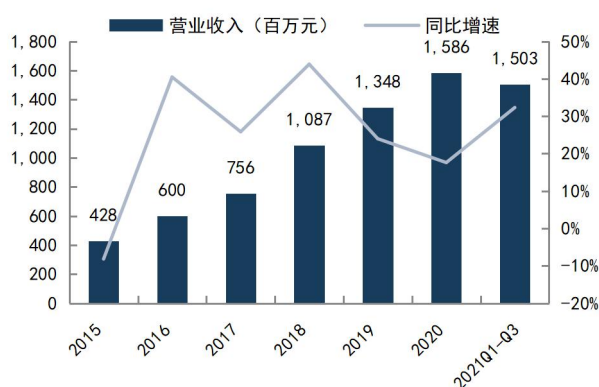


资料来源: Wind, 国信证券经济研究所整理

公司核电蝶阀、球阀处于垄断地位。自 2008 年以来, 公司就成为核电站核级蝶阀和核级球阀的主要中标企业, 获得了 90% 以上的订单。同时公司新开发了核电站地坑过滤器、海水流量调节装置、可视流动指示器、贝类捕集器等新产品, 丰富公司的产品线、提高了公司的核心竞争力。

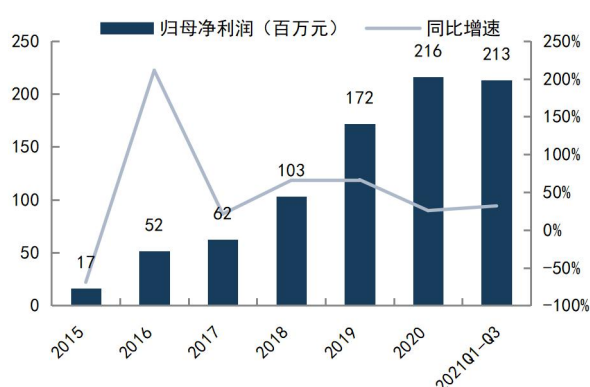
成功切入乏燃料后处理专业设备领域, 未来有望带来新增长动力。截止 2022 年 02 月, 国内在运机组共 53 台, 其中有 15 台已运行超过十年。同时, 预计未来国家每年新建 6-8 台新机组, 堆内存储能力不足, 乏燃料后处理成为刚需。公司自 2016 年开始布局乏燃料后处理专用设备产品线, 已成功研发真空气动送取样、空气提升、料液循环系统及贮存井等设备, 2019 年投资 7500 万元建设“乏燃料后处理关键设备研发及产业化”项目, 进一步提升公司在乏燃料后处理的研发与制造能力。目前, 公司在首个 200 吨级的乏燃料后处理建设项目中已累计获得约 3.7 亿元订单, 正在陆续交货。

图50: 2021Q1-Q3 公司营业收入同比增长+32.33%



资料来源: Wind, 国信证券经济研究所整理

图51: 公司归母净利润稳定增长



资料来源: Wind, 国信证券经济研究所整理

应流股份：核电装备、两机叶片双轮驱动公司持续成长

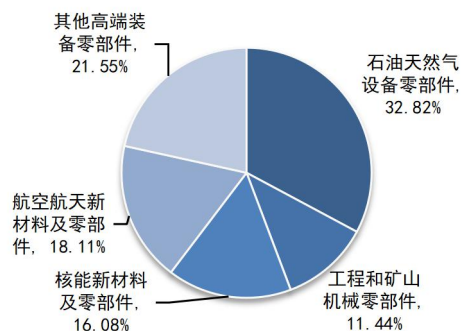
公司为国内专用设备零部件生产领域内领先企业。主要产品为泵及阀门零件、机械装备构件，应用在航空航天、核电、油气、资源及国防军工等高端装备领域。公司专注于高端装备核心零部件的研发、制造和销售，制造技术、生产装备达到国内领先水平，产品出口以欧美为主的 30 多个国家。公司提出“产业链延伸+价值链延伸”的发展战略，积极参与核电装备、航空发动机、燃气轮机和油气设备的国产化。

图 52: 应流股份主要产品



资料来源：应流股份官网，国信证券经济研究所整理

图 53: 2020 公司主营构成（按行业）



资料来源：Wind，国信证券经济研究所整理

核电装备产品链延伸，乏燃料后处理、核电批量化建设趋势确立有望加速业绩增长。公司逐步形成了包括主泵泵壳、乏燃料格架、金属保温层、中子吸收材料、爆破阀等多个核电产品，并且在 AP1000 及华龙一号中已有供货业绩。在“碳达峰、碳中和”的背景下，核电预期形成稳定的批量化建设，同时先进堆型示范和乏燃料后处理厂建设也在持续推进，公司订单有望加快增长。

持续优化产品结构，公司业绩稳健增长。公司 2018、2019、2020 年营业收入分别是 18.60/18.33/15.20 亿元，同比增速为+22.29%/+10.66%/-1.47%，净利润分别为 0.73/1.31/2.02 亿元，同比+21.55%/+78.67%/+54.28%，2020 营收增速为负主要原因是疫情导致公司海外业务不及预期，但公司积极调整产品结构，增加高附加值产品占比，开拓国内市场（国内营收占比由 2018 年的 35.82% 上升至 2020 年的 51.28%），同时公司优化成本控制并延伸产业链，在营收小幅下降的情况下，实现归母净利润大幅增长。2021 年前三季度，公司营收增速有所回升，但受原材料涨价影响，净利润增速有所下滑，目前公司已调整产品价格应对原材料价格上涨，同时持续调整产品结构。2018、2019、2020 公司核电业务占比分别为 13.12%/13.84%/15.54%，核电业务占比持续增长，2020 年，公司核电业务营收同比增长 10.65%。

图 54: 营业收入增速有所恢复



资料来源: Wind, 国信证券经济研究所整理

图 55: 公司归母净利润增速有所下滑

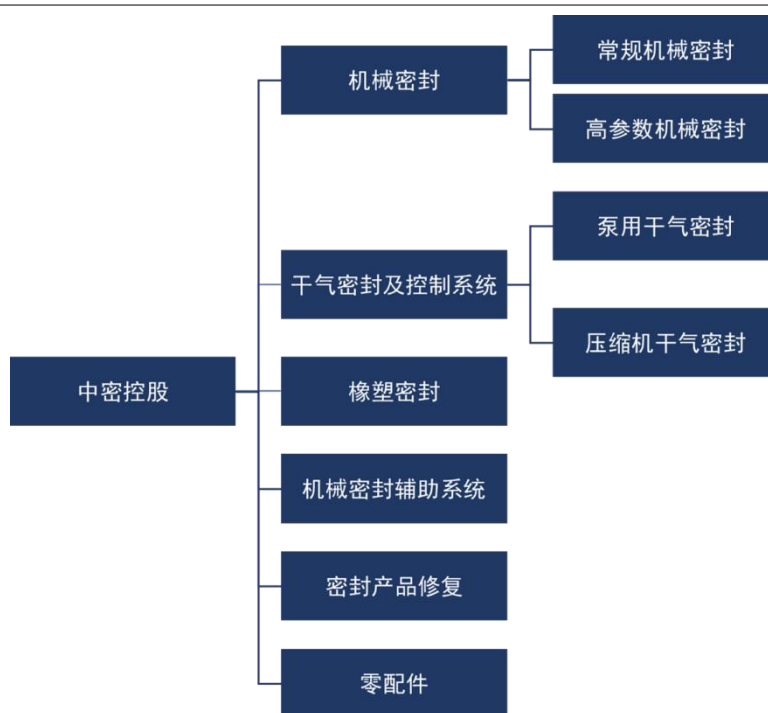


资料来源: Wind, 国信证券经济研究所整理

中密控股：核电国产替代加速助力公司业绩增长

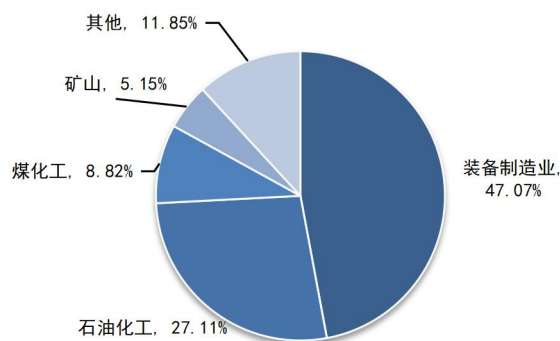
公司为国内机械密封龙头企业。主要产品包括泵用机械密封、干气密封、密封辅助（控制）系统、旋转喷射泵、橡塑密封等。主要用于石油化工、煤化工、核电、油气输送、电力等行业。公司定位于机械密封的中高端市场，中高端产品线完整，通过可靠的产品质量与服务，取得了良好的口碑与业绩。近年来公司在密封技术领域不断发展与突破，与进口密封的技术差距已日趋缩小，基本能够替代国外密封，个别领域甚至已经超越国外水平。

图 56: 中密控股主要产品



资料来源：中密控股官网，国信证券经济研究所整理

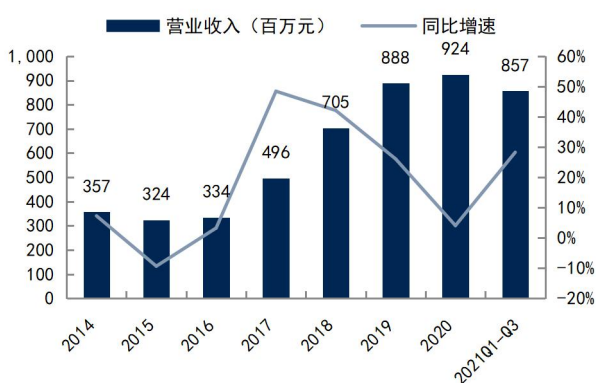
图 57: 2020 公司主营构成（按行业）



资料来源：Wind，国信证券经济研究所整理

多项核电研发取得突破，核电国产替代加速公司业绩增长。核电业务方面，公司深度整合了华阳密封，进一步巩固公司在核电密封领域的地位。公司核电密封业务增速主要来自两个方面：一方面，对于现役机组，公司与岭澳核电、大亚湾核电、三门核电、福清核电、红沿河核电等电站签订了备件及国产化替代产品的供货合同；另一方面，对于新建机组，公司先后取得了漳州、昌江核电站核二级安喷泵、核二级低压安注泵、上充泵机械密封订单；三澳核电上充泵机械密封订单。核电项目研发方面，多项研发进展有所突破：公司与中广核等单位联合研制的“百万千瓦级核电站反应堆冷却剂泵流体动压轴封组件样机研制”项目顺利完成，打破了国外对核主泵密封的垄断；完成钠冷快堆主循环泵机械密封的研发；取得核电站海水循环泵用机械密封国产化研发订单等等。目前公司核电业务进入快速发展期，叠加核电客户对价格不敏感，整体毛利率较高，预期加速公司业绩增长。

图58：2021 前三季度营业收入大幅增长



资料来源：Wind，国信证券经济研究所整理

图59：公司归母净利润增速回升



资料来源：Wind，国信证券经济研究所整理

风险提示

宏观经济风险

宏观经济发展，工业增加值的增速显著影响电力需求和能源结构，目前核电作为清洁能源，相较火电有优先上网权，但是，若我国社会经济增速、工业增加值增速放缓，电力需求不及预期，或低于装机容量的增速，届时，核电新机组审批速度可能降低，或者降低在运核电利用小时数，进而影响核电相关企业的盈利情况，核电行业增速可能不及预期。

世界范围内发生核电事故风险

核电站整体系统复杂，核电站的安全稳定运行取决于系统及设备的可靠性、运行人员的技术水平和安全意识等各方面，正常核电操作和运行均有严格的规范，整体来看，核电站具有极高的安全标准。但核电也存在系统及设施的老化、缺陷故障处理不合适、人员出现错误、自然灾害等风险。若上述风险导致较为严重的核事故，则可能会影响核电行业发展速度，进而影响相关公司业绩。

国家核电发展政策发生变动风险

核电是政策把控型行业，国务院、国家发改委等相关部门会根据国内核电发展情况以及光伏、风电等新能源发展情况调整核电发展政策和目标。如果国家政策降低核电发展的支持程度，则新核电审批和开工速度有可能放缓，进而影响核电产业链相关企业的业绩。

核电设备需求不及预期风险

根据中国核能行业协会预测，未来每年新审批机组 6-8 台，若因为政策、环境、技术等原因导致核电每年新审批机组不及预期，则核电设备需求可能会低于预期，影响核电设备相关企业业绩。

核电项目的建设风险

与其他常规发电项目建设相比，核电建设的安全、质量标准更高，项目建设周期更长、工程投资更大。若因设备、技术、宏观环境以及外部不可控因素导致核电工程工期延误，甚至核电项目中止，可能会对核电行业发展带来不利因素。

核燃料供应风险

我国铀资源大部分属于非常规铀，品位低、埋藏深，开采成本昂贵，因此，我国铀矿大部分依靠进口。目前全球天然铀供应基本处于供大于求的状况。若未来，全球铀需求增加，或者铀矿供应产生短缺，或者因内外部事件导致铀矿供应出现问题，可能会影响在运机组运行以及新机组建设进度，从而延误核电行业的发展。

核废料处理滞后风险

核电站运行过程中会产生核废料，核废料有放射性、热能释放等特点，如不妥善处理，会严重影响人体及周边环境。我国核电经历近 30 年发展，核废料

存储已接近饱和。目前国家及相关公司正在积极建设核废料处理、运输相关设施。但核废料的运输与处理资金需求大、技术难度高，地址选择苛刻。若核废料处理相关配套设施建设不及预期，可能会影响核电行业发展速度，进而影响核电产业链相关公司业绩。

国内疫情加重导致核电建设延期风险

目前国内疫情虽已得到控制，但不排除局部地区出现反复的情况，若疫情反复导致停工停产，可能会延缓核电站建设速度，对核电项目开工和进展带来影响。

储能技术实现重大突破风险

目前制约光伏、风电发展的原因之一是其发电不稳定，而储能设备是解决光伏、风电发电不稳定的关键技术。目前除了抽水蓄能技术较为成熟，其他储能技术成本较高、功率和容量也相对较小。未来若储能技术出现重大突破，成本大幅下降，解决光伏、风电发电稳定性问题，光伏和风电上网电量可能会大幅增加，核电上网电量及新机组审批速度可能降低，进而影响核电行业发展。

免责声明

分析师声明

作者保证报告所采用的数据均来自合规渠道；分析逻辑基于作者的职业理解，通过合理判断并得出结论，力求独立、客观、公正，结论不受任何第三方的授意或影响；作者在过去、现在或未来未就其研究报告所提供的具体建议或所表述的意见直接或间接收取任何报酬，特此声明。

国信证券投资评级

类别	级别	说明
股票 投资评级	买入	股价表现优于市场指数 20%以上
	增持	股价表现优于市场指数 10%-20%之间
	中性	股价表现介于市场指数 $\pm 10\%$ 之间
	卖出	股价表现弱于市场指数 10%以上
行业 投资评级	超配	行业指数表现优于市场指数 10%以上
	中性	行业指数表现介于市场指数 $\pm 10\%$ 之间
	低配	行业指数表现弱于市场指数 10%以上

重要声明

本报告由国信证券股份有限公司（已具备中国证监会许可的证券投资咨询业务资格）制作；报告版权归国信证券股份有限公司（以下简称“我公司”）所有。 ，本公司不会因接收人收到本报告而视其为客户。未经书面许可，任何机构和个人不得以任何形式使用、复制或传播。任何有关本报告的摘要或节选都不代表本报告正式完整的观点，一切须以我公司向客户发布的本报告完整版本为准。

本报告基于已公开的资料或信息撰写，但我公司不保证该资料及信息的完整性、准确性。本报告所载的信息、资料、建议及推测仅反映我公司于本报告公开发布当日的判断，在不同时期，我公司可能撰写并发布与本报告所载资料、建议及推测不一致的报告。我公司不保证本报告所含信息及资料处于最新状态；我公司可能随时补充、更新和修订有关信息及资料，投资者应当自行关注相关更新和修订内容。我公司或关联机构可能会持有本报告中所提到的公司所发行的证券并进行交易，还可能为这些公司提供或争取提供投资银行、财务顾问或金融产品等相关服务。本公司的资产管理部门、自营部门以及其他投资业务部门可能独立做出与本报告中所提及的意见或建议不一致的投资决策。

本报告仅供参考之用，不构成出售或购买证券或其他投资标的的要约或邀请。在任何情况下，本报告中的信息和意见均不构成对任何个人的投资建议。任何形式的分享证券投资收益或者分担证券投资损失的书面或口头承诺均为无效。投资者应结合自己的投资目标和财务状况自行判断是否采用本报告所载内容和信息并自行承担风险，我公司及雇员对投资者使用本报告及其内容而造成的一切后果不承担任何法律责任。

证券投资咨询业务的说明

本公司具备中国证监会核准的证券投资咨询业务资格。证券投资咨询，是指从事证券投资咨询业务的机构及其投资咨询人员以下列形式为证券投资人或者客户提供证券投资分析、预测或者建议等直接或者间接有偿咨询服务的活动：接受投资人或者客户委托，提供证券投资咨询服务；举办有关证券投资咨询的讲座、报告会、分析会等；在报刊上发表证券投资咨询的文章、评论、报告，以及通过电台、电视台等公众传播媒体提供证券投资咨询服务；通过电话、传真、电脑网络等电信设备系统，提供证券投资咨询服务；中国证监会认定的其他形式。

发布证券研究报告是证券投资咨询业务的一种基本形式，指证券公司、证券投资咨询机构对证券及证券相关产品的价值、市场走势或者相关影响因素进行分析，形成证券估值、投资评级等投资分析意见，制作证券研究报告，并向客户发布的行为。

国信证券经济研究所

深圳

深圳市福田区福华一路 125 号国信金融大厦 36 层
邮编：518046 总机：0755-82130833

上海

上海浦东民生路 1199 弄证大五道口广场 1 号楼 12 层
邮编：200135

北京

北京西城区金融大街兴盛街 6 号国信证券 9 层
邮编：100032