



电力设备与新能源行业研究

买入（维持评级）
行业专题研究报告

证券研究报告

国金证券研究所

分析师：姚遥（执业 S1130512080001）

yaoy@gjzq.com.cn

联系人：唐雪琪

tangxueqi@gjzq.com.cn

AI 数据中心发展驱动核电复兴，模块化小堆迎来新机遇

投资逻辑

AI 数据中心驱动用能需求，激活核电“第二春”。能源清洁化和俄乌战争带来了全球能源格局的变化，全球核电再次迎来了发展大周期。政策方面，美英法等多国联合出台《三倍核能宣言》，将使 2050 年核能装机容量增至 2020 年的三倍，美国两党也均持积极态度，奠定核电长期发展的重要地位。国际原子能机构（IAEA）已经连续第四年上调全球核电增长预期，预计到 2050 年全球核电装机量将增长 1.5 倍，达到 9.5 亿千瓦。产业发展方面，AI 数据中心将成为全球电力需求加速增长的关键驱动力之一。AI 需要庞大的算力支撑，新模型耗电量激增了 6-10 倍，预计到 2030 年，不包括加密货币在内的全球数据中心电力需求将增长 160%。当前电力供需处于紧平衡状态，为解决数据中心电力供应紧缺问题，科技巨头开启“核电站+数据中心”的供能合作模式，微软、OpenAI、谷歌、亚马逊等都与核电公司签署购电或合作协议，为自有数据中心园区供电。从合作的具体内容看，小型模块化核反应堆（SMR）是大势所趋。

小型核电经济性、灵活性更高，适用于 AI 数据中心。SMR 发电功率在 300 兆瓦以下，技术路线大多基于成熟商业化的第二代和第三代轻水反应堆或更安全可靠的四代反应堆进行开发设计，其特点满足数据中心长期电源稳定和质量要求。从规模看，小堆功率通常低于 300 兆瓦，当前大多开发的堆型功率在数十兆瓦左右，与一个大型数据中心或超算集群的功耗相当；从可行性看，SMR 建设周期更短、造价更可控，并且相较于大型核电站，小型模块化更灵活，可分期匹配数据中心的投产。具体看：（1）建设周期更可控：目标建设时间为 3 到 5 年，相较于大型压水堆的 10 年大幅缩短；（2）成本控制更优：SMR 建设资本成本在 2000~6000 美元/千瓦（平均 5233 美元/千瓦），度电发电成本（LCOE）在 80.6~89.6 美元/兆瓦时；传统大型压水堆在 4000~9000 美元/千瓦（平均 5859 美元/千瓦），LCOE 在 86.4 美元/兆瓦时。对比天然气发电，SMR 在碳税和补贴下发电经济性的相对优势也将显现；（3）安全性和灵活性更佳。大堆的辐射应急计划区范围在 10 公里，而小堆只有 500 米左右，部署能力（如选址限制较少）和产品多样性（热电联产）更强。

美国推动 SMR 建设积极性强，国内技术部署领先。全球共有 80 多个小型模块堆设计和概念，但处于可行阶段的主要集中在欧美、俄罗斯和中国。乐观情况下，NEA 预计到 2050 年 SMR 装机容量将达到 375GW，在核能装机容量中占比超 50%。SMR 从获得认证（2-4 年）到建设（5-7 年）完成落地运行需 7-10 年，预计 2030 年起项目开始逐步示范落地。

- **美国推动 SMR 积极性强，政策+技术领先。**美国由于电力系统是由多个区域电网构成，数据中心需电下非常适合发展 SMR。同时，政府出台了 IRA 法案以及针对 SMR 的专项资金补贴，由能源部通过政府资助项目支持小堆研发。美国 SMR 核电产业链重点关注原材料及加工核燃料、SMR 设计与研发环节（相关公司及产业链梳理详见正文）。
- **中国 SMR 技术部署领先全球，重点关注国产设备机会。**我国自研的“玲龙一号”设备国产化率达 90%以上，是全球首个通过 IAEA 官方审查的三代轻水 SMR，也是全球首个陆上商用 SMR，将于 2026 年正式发电。随着头部科技厂商的资本开支浪潮逐步由海外扩散到国内，国内的数据中心市场迎来新一轮成长周期，为供电设备带来了爆发式需求，将带动国内小型核电站发展，重点关注 SMR 国产设备机会（相关公司及产业链梳理详见正文）。

投资建议与估值

能源结构转型加速，AI 数据中心的电力需求增长为核电复苏提供新支撑，SMR 基于经济性、灵活性更高等优势，适用于数据中心，将迎来新机遇。核电的装机和新技术的发展将带动中游核设备与材料产业链、上游核燃料供应链的复兴，率先布局抢占赛道是关键，重点关注国内 SMR 小堆产业链以及国产设备机会（完整标的详见正文）。

风险提示

技术选择与示范堆建设问题、审查许可框架风险、核电核准持续性不及预期、新技术突破不及预期。



内容目录

一、AI 数据中心驱动用能需求，激活核电“第二春”	5
1.1 能源结构调整加速，全球核电再迎大发展	5
1.2 AI 数据中心“激活”核电再发展，美国科技巨头下场推动	8
二、小型核电（SMR）经济性、灵活性更高，适用于 AI 数据中心	13
2.1 小型化是核电发展方向之一，SMR 具备经济性、灵活性、安全性更高的优势	13
2.2 SMR 建设周期更短、造价更可控，满足数据中心电源稳定和质量要求	16
三、美国积极开展 SMR 机组建设，国内重点把握国产设备机会	19
3.1 全球针对 SMR 政策支持力度逐渐加强，集中在欧美和中国推进	19
3.2 美国推动 SMR 积极性强，技术领先并且给予专项政策补贴	22
3.3 国内明确支持小型模块化反应堆发展，陆上部署领先全球，关注国产设备	28
四、投资建议	36
五、风险提示	38

图表目录

图表 1：随着全球能源格局变化全球核电装机量有望再次迈入发展大周期	5
图表 2：全球在建核电反应堆容量达 58.6GWe	5
图表 3：美国 COP29 发布本土核电发展路线图	6
图表 4：美国两党对核能均积极推广发展	6
图表 5：国内核电“三步走”战略	7
图表 6：2050 年全球核能装机乐观情景下，将从目前的 3.7 亿千瓦增加约 1.5 倍，达到 9.5 亿千瓦（GW）	8
图表 7：全球核能装机乐观情景下，核电发电量达到 7666TWh（TWh）	8
图表 8：算力中心中 IT 设备能耗高达 67%	9
图表 9：ChatGPT 搜索消耗的电量大约是传统谷歌搜索的 6-10 倍	9
图表 10：美国数据中心电力需求预计到 2030 年将比 2020 年增加两倍以上	9
图表 11：全球数据中心电力需求预计到 2030 年增长 160%（中性预测）	9
图表 12：美国电力需求增长将由 AI 数据中心再次带动	10
图表 13：2024-2030 年，数据中心/人工智能的增长将使美国年电力需求增长率平均增加约 80 个基点	10
图表 14：预计国内算力增长驱动数据中心用电增长约 27%	10
图表 15：谷歌 2023 年碳排放同比增长 13%（2023 年谷歌数据中心总用电量增长 17%）	11
图表 16：美国数据中心运行带来家庭电力供应的“谐波失真”	11
图表 17：数据中心的大规模用电以及其用电的不稳定性导致电压波动	11
图表 18：核电出力平稳、满足数据中心可靠性要求	12



图表 19:	谷歌数据中心 PUE 降至 1.1	12
图表 20:	美国科技巨头大量开展“核电站+数据中心”	12
图表 21:	核电技术发展可划分为四代, 当前三代技术成熟、四代核电试点	13
图表 22:	6 种候选 4 代堆的特征	14
图表 23:	按照功率大小划分核反应堆类型	14
图表 24:	小型模块化反应堆 (SMR) 技术路线	15
图表 25:	SMR 是实现核电小规模下经济性的关键技术	15
图表 26:	SMR 具备其小型化、模块化、高安全性、灵活性和可持续性等特点	16
图表 27:	SMR 可仅占地 34.5 英亩, 模块化适用于灵活配套数据中心电力需求	16
图表 28:	LW-SMR 比 PWR12-BE 建设周期更短	17
图表 29:	LW-SMR 比 PWR12-BE 的隔夜资本成本对比, 平均值和标准差均更小	18
图表 30:	SMR 与传统大型核电站以及天然气联合循环电厂 LCOE 对比	19
图表 31:	全球处于研究中的 SMR	20
图表 32:	全球 SMR 技术发展地区一览, 集中在欧美和中国	21
图表 33:	SMR 预计 2030 年起开始规模化落地	21
图表 34:	全球针对 SMR 的核能政策支持力度逐渐加强	22
图表 35:	IRA 法案对在运/新建/重启核电项目的补贴支持情况	22
图表 36:	美国计划给予三代改 SMR 高达 9 亿美元的专项资金补贴	22
图表 37:	小型模块化反应堆领域发文量美国第一	23
图表 38:	小型模块化反应堆授权专利美国位列前三	23
图表 39:	美国处在申请认证流程中的 SMR 项目或设计	23
图表 40:	2022 年全球各地区矿山铀产量分布, 单位: tU	24
图表 41:	2022 年各公司矿山铀产量情况	24
图表 42:	SMR 对铀浓度要求更高, 对铀需求量更大	24
图表 43:	NuScale 77MW 模块化小堆参数	26
图表 44:	西屋电气 AP300 SMR 模块图	26
图表 45:	西屋电气 AP300 SMR 应用具备多功能性	26
图表 46:	奥克洛从建设到运营一体化的模式将加速 NRC 许可证审批	27
图表 47:	奥克洛 SMR 建设成本随规模化发展下降	27
图表 48:	奥克洛 SMR 经济吸引力高	27
图表 49:	奥克洛潜在购电协议 (PPA) 合同超 2GW	28
图表 50:	BWRX-300 技术参数	28
图表 51:	BWRX-300 可用于发电和工业应用	28
图表 52:	中国大陆小型模块化反应堆现状	29
图表 53:	“玲龙一号”反应堆核心模块吊装	30



图表 54:	2021-2024 年年中广核矿业天然铀产量情况.....	31
图表 55:	核电设备价值中心在核岛.....	31
图表 56:	核岛设备价值量拆分.....	31
图表 57:	核电产业链主要设备企业.....	32
图表 58:	国内参与“玲龙一号”开发和零部件供给的企业.....	32
图表 59:	中国核电未来三年装机预测.....	33
图表 60:	中国广核未来三年装机预测.....	33
图表 61:	牌照垄断下核电央企集中度高.....	33
图表 62:	核能制氢原理示意图.....	34
图表 63:	核能制氢技术路线.....	35
图表 64:	不同反应堆技术的出口温度.....	35
图表 65:	主流制氢路线对比.....	35
图表 66:	高温 SOEC 与其他低温电解槽能量消耗对比.....	36
图表 67:	国内 SOEC 相关企业和项目及发展情况.....	36
图表 68:	美国核能产业链上游和中游相关上市公司.....	37
图表 69:	国内核电产业链和上市公司.....	37



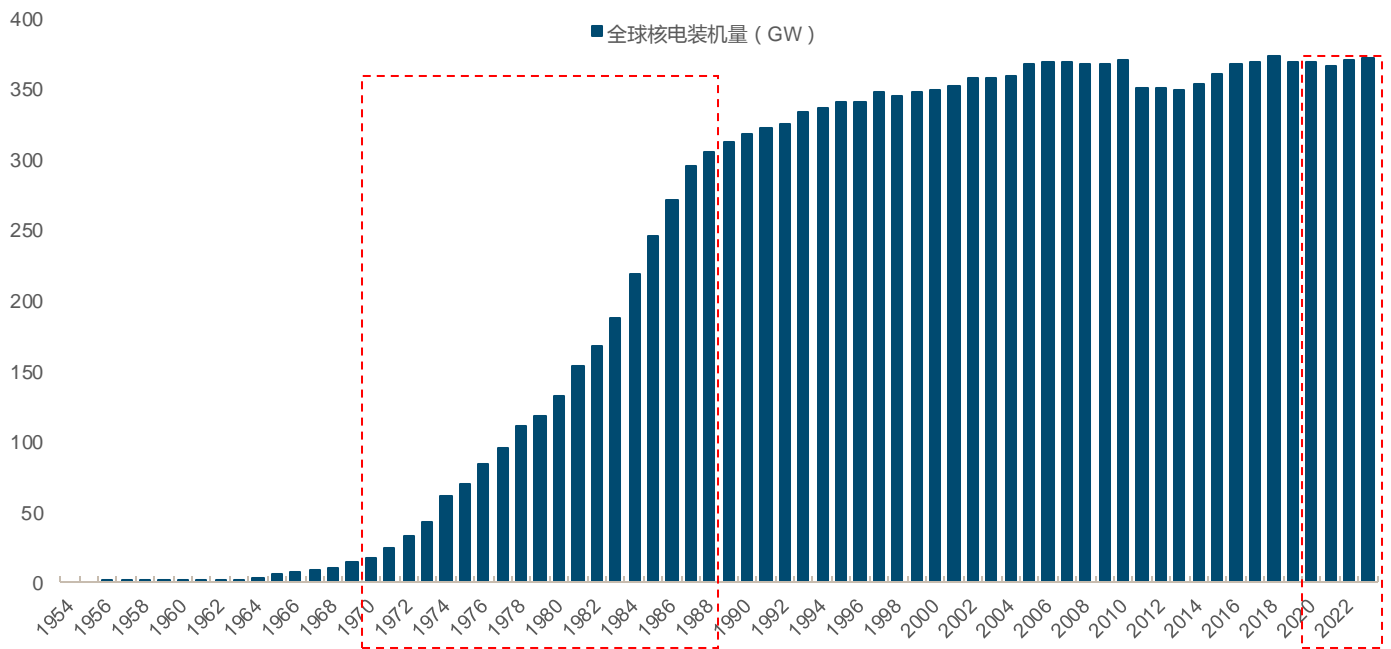
一、AI 数据中心驱动用能需求，激活核电“第二春”

1.1 能源结构调整加速，全球核电再迎大发展

全球能源格局变化，核电再次迈入发展大周期。1970-1980 年代，伴随石油危机带来的核电开发大周期。过去十年，核电容量一直处于稳定水平；自 2013 年初以来，新增了 69.8 吉瓦的核电容量并入电网。

从 2020 年起，能源清洁化和俄乌战争带来了全球能源格局的变化，全球核电再次迎来了发展大周期。全球核电发电量从 2022 年的 2544TWh 上升到 2023 年的 2602TWh，提供了全球 9% 的电力，在清洁能源中仅次于水电。截至 2023 年 12 月底，全球在运核电容量为 371.5 吉瓦，由 31 个国家的 413 座反应堆提供。目前有 15 个国家的 64 座反应堆正在建设中，而加纳、波兰和菲律宾等 20 个新加入的国家正处于制定政策的不同阶段，以便建造其第一座核电站。

图表1：随着全球能源格局变化全球核电装机量有望再次迈入发展大周期



来源：IAEA、国金证券研究所

- 国际原子能机构 (IAEA) 动力堆信息系统显示，当前全球共有在运核反应堆 420 座，总装机容量 374827MWe，在建核反应堆 56 座，容量 58595MWe。

图表2：全球在建核电反应堆容量达 58.6GWe

国家	中国大陆	俄罗斯	美国	法国	日本	合计
可运行的反应堆数量 (座)	55	37	92	56	33	420
现有装机容量 (MWe)	53181	27727	94718	61370	31679	374827
在建反应堆数量 (座)	22	3	2	1	2	56
在建装机容量 (MWe)	24781	2810	2500	1650	2756	58595
计划中的反应堆数量 (座)	46	25	3	0	1	56
计划中容量 (MWe)	51360	23525	2550	0	1385	-

来源：IAEA、国金证券研究所，注：合计统计包括全球所有国家和地区，不仅仅包含中国大陆、俄罗斯、美国、法国和日本 5 个国家。

美英法等多国联合出台《三倍核能宣言》，加速推动核电建设。2023 年，COP28 联合国气



候变化大会上，美国、法国、英国等二十余国提出《三倍核能宣言》，表示将使 2050 年核能装机容量增至 2020 年的三倍目标，这是联合国气候大会历史上，首次通过发展核能的联合宣言。2024 年 11 月 COP29 会议上，支持该宣言的国家总数增加了 6 个，达到了 31 个。同时美国政府发布了一份《安全和负责任扩张美核能：部署目标和行动框架》，计划到 2050 年部署 200 吉瓦核电容量，至少是美国 2020 年核能装机容量的三倍。

图表3：美国 COP29 发布本土核电发展路线图

24 年拜登对核电最新表态——COP29：《安全和负责任扩张美核能：部署目标和行动框架》	
发展目标	<p>到 2035 年实现新增 3500 万千瓦在建或投运装机规模，催化形成新核能部署生态。</p> <p>到 2040 年达到年均部署 1500 万千瓦的建设能力，支持美国 and 全球核能部署。</p> <p>到 2050 年新增 2 亿千瓦核电装机容量，将核电总装机规模增至现有水平三倍。</p>
行动计划	<p>发布 9 大实现路径和 30 余项具体行动措施，主要举措包括：建造百万千瓦级大堆，建造小堆，建造微堆，在运机组延寿和改造扩容以及已关闭机组重启，优化许可和审批程序，培养核产业劳动力，完善设备供应链，发展核燃料供应链，加强乏燃料管理。</p>

来源：Whitehouse.gov、国金证券研究所

美国两党均持积极态度，奠定核电长期发展的重要地位。

(1) 特朗普 1.0 任期：维护美国全球核技术优势地位，遏制中国自主设计堆型发展。

- 特朗普政府提出了一系列方针、政策和框架，核能新政主要体现在《核能创新与现代化法案》、《先进核能技术法案》、《先进堆开发与部署愿景和战略》和《美国国家安全战略》等若干关键政策文件，对核电态度较为积极，意图通过重振美国核能，确保美国在全球核技术优势地位，尤其对先进核电技术提出支持。

(2) 拜登政府任期：颁布 IRA 法案补贴核电，拉拢核能发展盟友，加大出口管制。

- IRA 法案对各类清洁能源进行补贴。如 IRA 就为现有核电站设立了生产税收抵免，从 2024-2032 年，公用事业公司现有核电厂发电可获得 15 美元/兆瓦时的税收抵免。
- 2023 年第 28 届联合国气候变化大会（COP28）上，美国、法国、英国等二十余国首次联合发布《三倍核能宣言》，提出使 2050 年核能装机容量增至 2020 年的三倍目标。2024 年 11 月，COP29 会议上拜登再提三倍核电落地框架，并提出美国本土 2050 年核电装机规划新增 200 吉瓦计划。
- 2023 年 8 月，美国核管理委员会（NRC）发文进一步收紧出口：要求出口商在出口特殊核材料和原材料时，必须获得特定许可证。与此同时，某些发电机、容器和软件，在出口到中国时，也需要获得美国商务部的特定许可证。

(3) 特朗普 2024 年竞选：特朗普表态为“释放包括核能在内的所有能源生产”、“加速新核电机组”。对于核电表态积极，主要从产出效率角度对新能源项目、尤其是美国的海上风电项目提出质疑。

图表4：美国两党对核能均积极推广发展

党派	政策	具体内容
共和党 特朗普执政 (2017 - 2021 年)	《先进堆开发与部署愿景和战略》 2017 年	该法案强调了模块化小堆(SMR)和不依靠水冷却的先进堆在未来核电布局的重要性。清晰地表达了美国能源部(DOE)加速部署先进堆的愿景和战略，要求在 2030 年初期，批准并建设两个先进堆概念，作为战略部署的第一阶段。
	《核能创新能力法案》(NEICA) 2018 年	该法案将指导 DOE 与私营创新者合作，测试和示范先进反应堆概念。该措施授权创建一个国家反应堆创新中心，汇集国家实验室、能源部、核管会(NRC)和私营部门的技术专长，以共享下一代核反应堆和材料开发的信息。代表了美国政府支持商业核能部门的“坚定承诺”，确保美国保持其在全球的领导地位。



	《核能创新与现代化法案》 (NEIMA) 2019年	NEIMA 是朝着改革美国核管理委员会 (NRC) 收费流程迈出的重要一步, 目的是通过建立新的预算和费用结构以及为先进核反应堆制定修订后的许可框架, 实现美国核管理委员会职能的现代化。法案旨在提高 NRC 的收费透明度和可预测性; 限制现有反应堆的 NRC 费用; 指示 NRC 到 2027 年建立先进反应堆许可框架。
	《先进核能技术法案》 (NELA) 2020年	NELA 旨在重新确立美国在核能领域的领导地位。该法案将能源部的重点放在展示先进的反应堆概念、为初始先进核反应堆提供燃料以及培养核能劳动力上。NELA 支持的先进反应堆具有巨大的潜力, 可以为军事基地、阿拉斯加等州的偏远社区等设施以及全国各地的大城镇提供安全、清洁、可靠和负担得起的能源。
民主党 拜登执政 (2022 - 2025 年)	《加速部署清洁能源所需的多功能先进核能法案》 (ADVANCE) 2024年	ADVANCE 法案将修订 NEIMA, 以修改 NRC 对先进核能反应堆申请审查的收费结构。具体而言, 该法案将费用上限设定为任务直接计划的工资和福利的小时费率。修改将于 2025 年 10 月生效, 在 2030 年 9 月 30 日设有终止条款。并且该法案将引入“奖项”来激励先进核能技术的开发和部署, 其中最突出的是鼓励“首创”许可。
	《安全和负责任扩张美核能: 部署目标和行动框架》 2024年	明确了至 2050 年的核能发展目标和行动计划。该报告作为政府纲领性文件, 对引领指导美国未来核能发展具有重要作用。目标方面: 美国远期计划到 2050 年新增 2 亿千瓦核电装机容量, 将核电总装机规模增至现有水平三倍; 中期目标为到 2035 年实现新增 3500 万千瓦在建或投运装机规模, 催化形成新核能部署生态; 到 2040 年达到年均部署 1500 万千瓦的建设能力, 支持美国 and 全球核能部署。

来源: 美国能源部、NEI、CAEA、中国核电网、Whitehouse.gov、国金证券研究所

我国核电“三步走”, 以核电新技术突破带动核工业发展。为解决核能发展“两大问题”——资源可持续和环境友好性, 解决铀资源、厂址资源保障问题、解决乏燃料后处理问题、解决核废物处理处置影响最小化问题; 同时在核工业各类应用上取得突破, 我国自 20 世纪 80 年代便提出了核能发展“三步走”战略(热堆、快堆、聚变堆)。近 20 年时间, 均将采用热堆路线、以年核准 8~10 台的节奏有序安全发展核电, 快堆建设计划集中在本世纪中期。

图表5: 国内核电“三步走”战略

	热堆	快堆	聚变堆
近期 20 年时间	稳定核准 8~10 台/年	技术攻关	关键技术研发攻关
中期 至 2060 年	安全稳定运行 机组延寿	持续平衡建设 (4~6 台/年)	工程示范
远期 至本世纪末	热堆-快堆二元结构, 协调发展		商业应用

来源: 2024 核能高质量发展大会、国金证券研究所

IAEA 连续第四年上调全球核电增长的预期, 乐观情况下装机容量将增长 1.5 倍。根据 IAEA 最新预测, 在乐观情景下, 到 2050 年, 全球核电装机容量将从目前的 3.7 亿千瓦增加约 1.5 倍, 达到 9.5 亿千瓦; 在悲观情景下, 装机容量将增加 40%, 达到 5.14 亿千瓦。与 2023 年的预测相比, 乐观预测上调了约 6.7%, 悲观预测上调了 12.2%。此外, 全球关注的小型模块化反应堆 (SMR) 预计到 2050 年, 在乐观预测情景下将占新增装机容量的 24%, 在悲观预测情景下则占 6%。


图表6: 2050年全球核能装机乐观情景下, 将从目前的3.7亿千瓦增加约1.5倍, 达到9.5亿千瓦(GW)

国家	2023	2030E		2040E		2050E	
		悲观预测	乐观预测	悲观预测	乐观预测	悲观预测	乐观预测
全球	371.6	414	461	491	694	514	950
北美	109.5	108	110	104	150	89	228
拉丁美洲和加勒比海	5.1	5	5	8	12	8	20
北欧、南欧、西欧	93.8	86	88	88	114	69	135
东欧	54.5	54	60	56	92	66	112
非洲	1.9	4	6	9	14	10	24
西亚	4.4	9	10	15	23	17	32
南亚	10.65	18	23	35	58	45	88
中亚和东亚	91.9	130	160	175	231	207	297
东南亚	-	-	-	1	1	3	11
大洋洲	-	-	-	-	-	-	2

来源: IATA、国金证券研究所

图表7: 全球核能装机乐观情景下, 核电发电量达到7666TWh(TWh)

国家	2023	2030E		2040E		2050E	
		悲观预测	乐观预测	悲观预测	乐观预测	悲观预测	乐观预测
全球	2597.9	3084	3443	3812	5390	4157	7666
北美	862.7	853	866	838	1209	732	1878
拉丁美洲和加勒比海	34.7	39	39	60	94	63	154
北欧、南欧、西欧	558.7	562	576	631	815	532	1042
东欧	354	404	444	431	708	535	903
非洲	8.2	33	42	69	108	77	187
西亚	33.7	69	81	113	178	132	255
南亚	73.1	125	158	264	430	357	698
中亚和东亚	672.8	999	1237	1398	1840	1705	2446
东南亚	-	-	-	8	8	24	87
大洋洲	-	-	-	-	-	-	16

来源: IATA、国金证券研究所

1.2 AI 数据中心“激活”核电再发展, 美国科技巨头下场推动

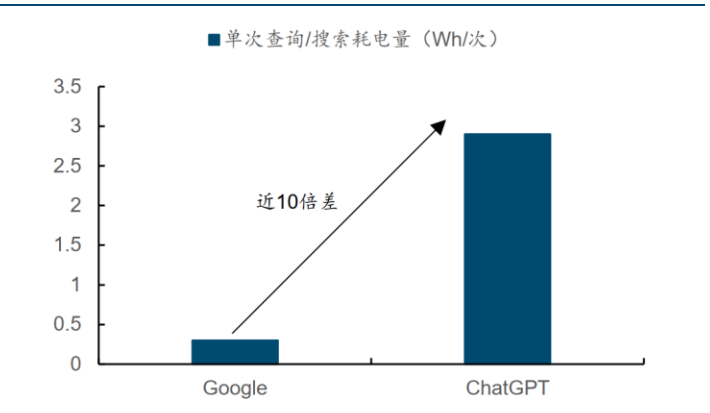
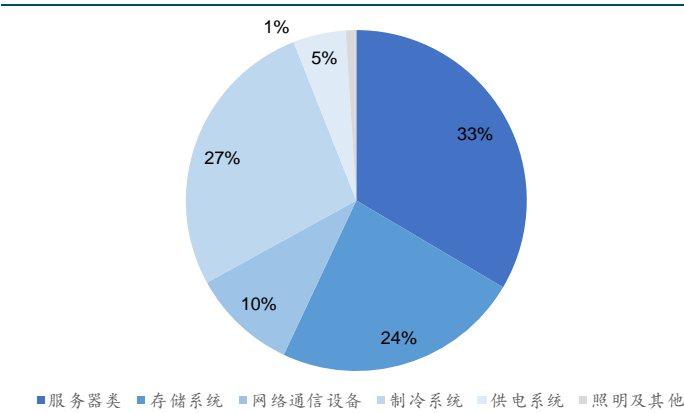
高速发展的 AI 需要庞大的算力支撑, 新模型耗电量激增 6-10 倍。2023 年数据中心的耗电量达到 500TWh, 相当于全球能耗的 2%。随着人工智能工作负载、GPU 工作负载和高性



能计算 (HPC) 的增加, 配备 GPU、具备 AI 算力的服务器需电将达到 40-60kW/机架, 而目前为 10-14kW, 大幅提高了数据中心的整体功耗。

图表8: 算力中心中 IT 设备能耗高达 67%

图表9: ChatGPT 搜索消耗的电量大约是传统谷歌搜索的 6-10 倍



来源:《中国绿色算力发展研究报告(2024年)》、国金证券研究所,以 PUE=1.5 为例

来源:高盛、国金证券研究所

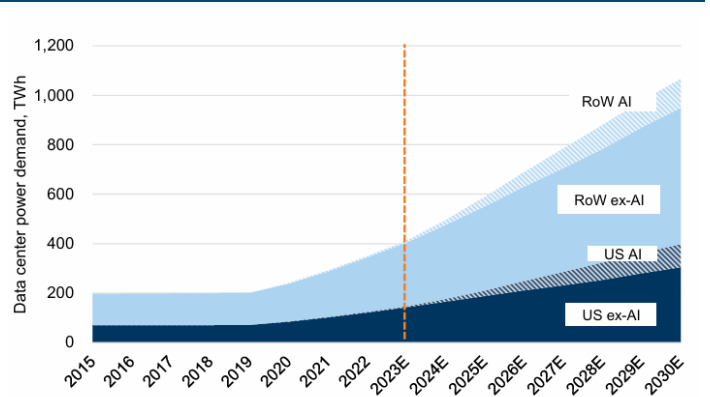
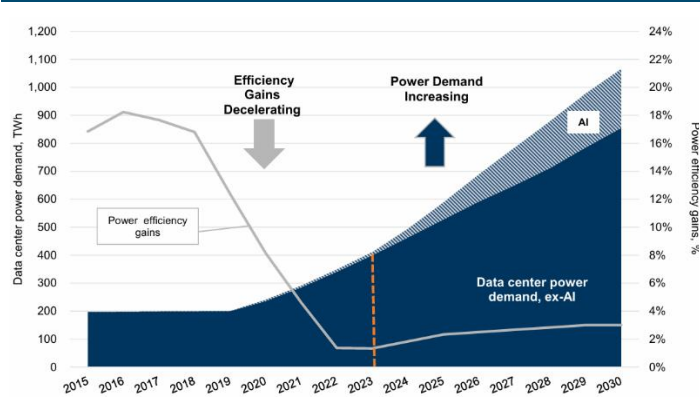
全球未来五年 AI 数据中心电力需求将高涨 160%, 电网电力供应能力及稳定性受到挑战。以美国为例, 在过去的十年里, 美国的电力需求平均增长率为 0%。但随着 AI 和非 AI 数据需求的增长, 以及能效提升的实质性放缓, 电力需求将开始急剧加速, 其建设速度远超电网规划的常规节奏, 现有的电网基础设施难以快速适应这种爆发式增长, 导致电力供应紧张, 电压稳定性受到挑战。虽然数据中心多集中在大城市附近以利用更大电网和光纤网络解决延迟问题, 但也给本已脆弱的城市电网增添巨大压力。

AI 数据中心将成为全球和美国电力需求加速增长的关键驱动力之一。在 AI 算力需求快速增长下, 预计数据中心电力需求占比将从全球总电力需求的 1%-2% 上升至 3%-4%, 带来约 650 太瓦时的电耗增加。其中, 数据中心在美国的总电力需求占比中上升幅度更大, 将从 3% 上升至 8%, 并带来额外 500 亿美元的资本支出。

- 根据高盛报告, 预计到 2030 年, 中性预测下, 不包括加密货币在内的全球数据中心电力需求将增长 160%。并且 AI 数据中心的增加将使全球/美国年电力需求增长率平均增加约 30/90 个基点。

图表10: 美国数据中心电力需求预计到 2030 年将比 2020 年增加两倍以上

图表11: 全球数据中心电力需求预计到 2030 年增长 160% (中性预测)

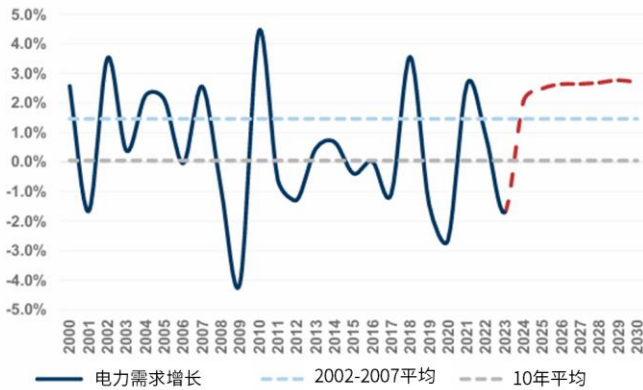


来源: Masanet et al. (2020), Cisco, IEA, 国金证券研究所

来源: Masanet et al. (2020), Cisco, IEA, 国金证券研究所

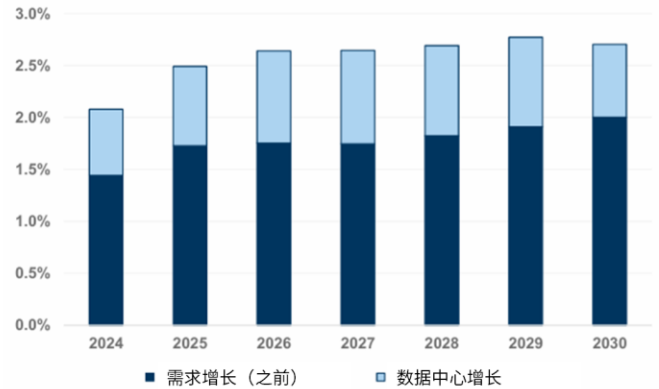


图表12: 美国电力需求增长将由 AI 数据中心再次带动



来源: EIA、国金证券研究所

图表13: 2024-2030年, 数据中心/人工智能的增长将使美国年电力需求增长率平均增加约80个基点



来源: 高盛、国金证券研究所

中国算力规模全球第二、仅次于美国。我们测算算力增长驱动数据中心 (IDC) 用电增长, 至 2025 年占全社会用电量比重将接近 2.5%。

- 根据中国信息通信研究院的数据, 2023 年我国新增算力约 28%, 单机架算力提升算力增速略快于机架数增速。假设 2024/2025 年算力增速扩至 32%/35%, 在运机架总量预计从 2023 年的 810 万架增至 1281 万架 (2.5kW 标准机架口径)。假设 2024/2025 年国内全社会用电增速设为 7%/5.7%, 对应 2025 年 IDC 用电占比将继续提升至 2.3%。
- 66% 上架率水平下, IDC 年利用小时数接近 7600h, 与核电全年发电小时数高度匹配 (考虑平均 18 个月的换料大修周期)。

图表14: 预计国内算力增长驱动数据中心用电增长约 27%

	2022	2023	2024E	2025E
在运算力 (pFLOPS)	180000	230000	303600	409860
YoY		27.8%	32%	35%
2.5KW 标准机架对应算力 (pFLOPS/架)	0.0276	0.0284	0.03	0.032
在用机架 (架)	6520000	8100000	10120000	12808125
YoY		24.2%	24.9%	26.6%
标准机架功率 (KW/架)	2.5	2.5	2.5	2.5
平均机架 PUE	1.52	1.48	1.44	1.40
其中: 新增机架 PUE			1.29	1.25
平均上架率 (%)	58.0%	66.0%	68.0%	70.0%
IDC 装机功率 (万千瓦)	1437	1978	2481	3142
平均利用小时数 (h)	8402.2	7583.3	7600	7600
IDC 耗电量 (亿千瓦时)	1207	1500	1886	2388
YoY		24.2%	25.7%	26.6%
全社会用电总量 (亿千瓦时)	86372	92241	98698	104324
YoY		6.8%	7.0%	5.7%
IDC 用电占比 (%)	1.40%	1.63%	1.91%	2.29%

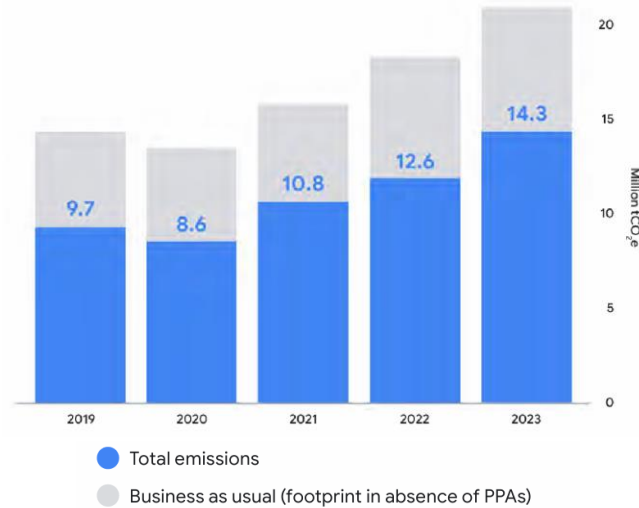
来源: 中国信息通信研究院、国金证券研究所

AI 数据中心运行导致碳排放激增, 需寻求绿色能源。据斯坦福大学的《2022 年人工智能



指数报告》显示，OpenAI 的 GPT-3 模型在训练期间释放了 502 公吨碳，是目前大模型中有据可查耗能最严重的，它的碳排放量是 Gopher 模型的 1.4 倍，是 BLOOM 模型的 20.1 倍，约等于 8 辆普通汽油乘用车一生的碳排放量，人均 91 年的碳排放量。此外，高盛最新分析指出，到 2030 年数据中心电力需求的增长将使数据中心二氧化碳排放量比 2022 年增加 100% 以上（约 2.15-2.2 亿吨），增加量约占全球能源排放量的 0.6%。截至 2023 年底，源自美国的顶级 AI 模型数量达到了 61 个，欧盟 21 个，中国 15 个。

图表15: 谷歌 2023 年碳排放同比增长 13% (2023 年谷歌数据中心总用电量增长 17%)



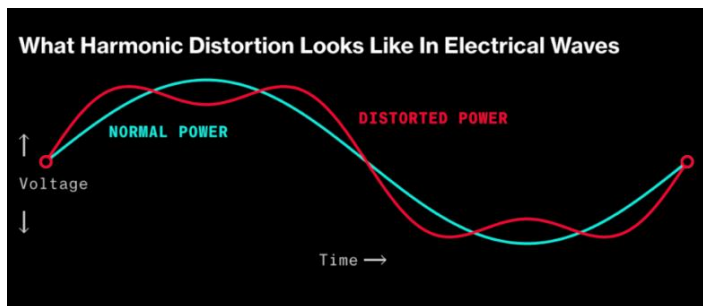
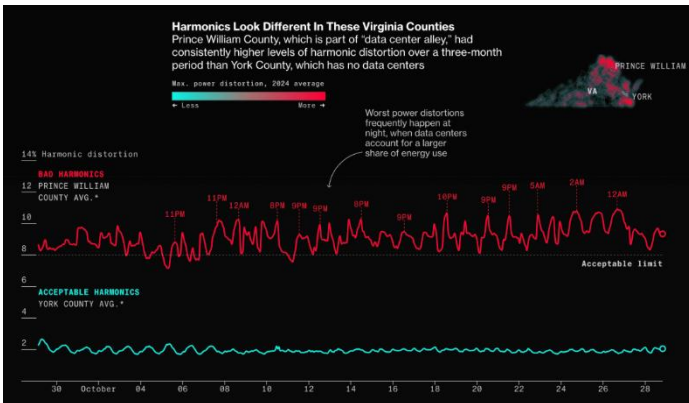
来源: Google 2024 ESG Report、国金证券研究所

数据中心对电能稳定性和质量要求高，其用电需求增长为核电复苏提供新支撑。数智化技术领域已经普遍达成共识：人工智能的基础是算力，而算力的尽头是电力。归根到底，普通能源已经跟不上算力扩张脚步，只有解决供电瓶颈，数字化才能真正实现，这为核电复苏提供了新的支撑。

- 对于 AI 数据中心电源，运行连续性是其关键指标。运营中断面临的的可能不仅是经济损失、甚至是法律责任。相比于风光出力不可控，核电这类可靠性电源与数据中心诉求更为相符。
- AI 数据中心电源对电能的稳定性和质量要求更高。数据中心的大规模用电以及其用电的不稳定性（如人工智能的能源消耗像锯齿图，而非平滑线），会导致电网电压出现波动。当数据中心用电高峰时，可能会拉低电网电压，而在用电低谷时，又可能使电压升高，造成电力失真，可能会对家中的电器造成损害，增加发生电气火灾的风险，并可能导致停电或降压现象。因而，核电供给的稳定高质量电能与数据中心诉求更相符。

图表16: 美国数据中心运行带来家庭电力供应的“谐波失真”

图表17: 数据中心的大规模用电以及其用电的不稳定性导致电压波动



来源: Bloomberg、国金证券研究所

来源: Whisker Labs、国金证券研究所

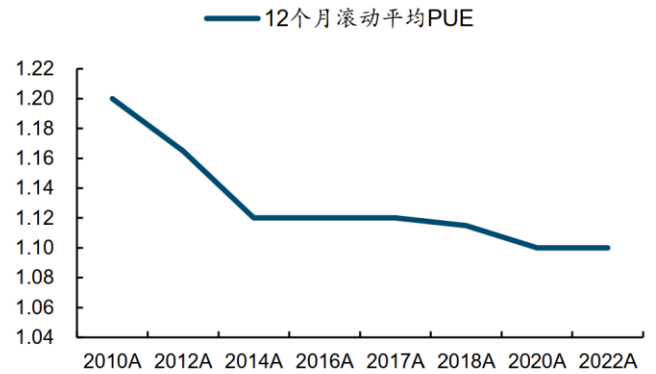
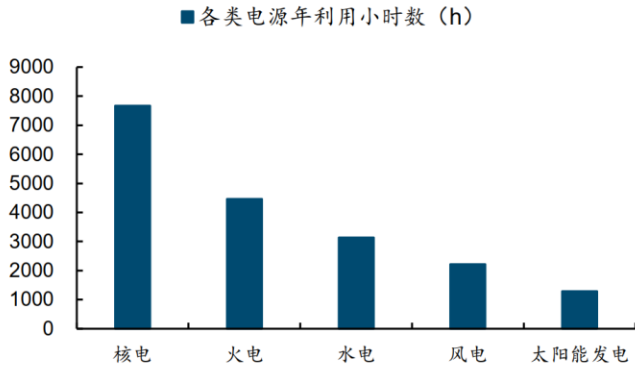


核能能量巨大、稳定，且是一种清洁能源，能够满足数据中心的可靠电力需求，正在成为科技巨头绿色电力的合适选择。对科技公司而言，相较于从电网中获取电力，直接利用核电更有意义。这类交易还意味着无需新的电网基础设施，这样数据中心不仅可以更快地建成，同时还可以避免构成公共事业费大头的输电、配电费用。

- 核电可以提供持续、低碳的电力供应，这正是数据中心持续运营所必须的；
- 核电可以长期直接采购，为数据中心运营商提供商业保证。

图表18: 核电出力平稳、满足数据中心可靠性要求

图表19: 谷歌数据中心 PUE 降至 1.1



来源：中电联、国金证券研究所

来源：Google 2024 ESG Report、国金证券研究所

“核电站+数据中心”供能合作模式开启，科技巨头下场推进。AI 热潮催生的用电需求，使得美国科技公司在全国范围内寻找电力供应。尤其在美国电网规划较为老旧、电力供应紧张现状下，美国巨头公司将更多目光投向核电，在数据中心上推行“核电直供”，以推进 AI 发展。据《华尔街日报》报道，全美约 1/3 核电站所有者都在与科技公司就新建数据中心的电力供应进行谈判。科技巨头已经或即将开始斥巨资下注核能，他们或直接进入核电企业，或向核电公司购买电力，微软、OpenAI、谷歌、亚马逊等都在行动。

从目前供电合作的趋势看，小型核电站有望成为数据中心长期供电保障的最佳选择。全球核电也在经历一场新的复兴，正在加速走向规模化阶段的小型模块化反应堆甚至更小的微型堆。从目前各大科技公司与核电公司合作内容看，小型模块化核反应堆（SMR）是大势所趋。受益于更高的效率和更低的成本，考虑长期供电稳定性、经济性等因素，小型核电目前看有望成为数据中心长期供电保障的最佳选择。

图表20: 美国科技巨头大量开展“核电站+数据中心”

科技公司	合作核电公司	合作方式	时间	具体内容
谷歌 (Google)	Kairos Power	委托新建核电站、签购供电协议	2024年10月	谷歌计划向核反应堆运营商购入拟建的 6-7 个小型模块化核反应堆 (SMRs) 的电力，总容量达 500 兆瓦。双方已签订购电协议，Kairos 计划在 2030-2035 年交付反应堆，建造地点尚未确定。
亚马逊服务 (AWS)	星座能源 (CEG)	签署购电协议	2024年7月	与美国最大核电厂运营商星座能源达成协议，由后者位于美国东海岸的一座核电站直接供电。
	Talen Energy	收购核电站	2024年3月	亚马逊斥资 6.5 亿美元从 Talen Energy 购买了位于宾夕法尼亚州的 Cumulus 数据中心园区，紧邻 Susquehanna 核电站。此交易使亚马逊能获得高达 960 兆瓦的核能供电，并计划在未来进一步扩大。
微软 (Microsoft)	星座能源 (CEG)	重启核电站、签署购电协议	2024年9月	微软与美国最大的核反应堆运营商 Constellation Energy 签订了一份为期 20 年购买电力的协议——三哩岛核电站 (Three Mile) 协议，重启三哩岛核电站核电站，将所有发电量卖给微软。
	星座能源 (CEG)	签署购电协议	2023年	微软与星座能源公司签署合作协议，后者将通过旗下核电设施为微软位于弗吉尼亚州的数据中心供电。



	Helion Energy	签署购电协议	2023年5月	微软与核聚变技术公司 Helion Energy 签订购电协议, Helion 计划在 2028 年前让首座核电厂开始运转, 目标发电量达 50 兆瓦。
OpenAI	奥克洛 (OKLO)	签署购电协议	-	与美国奥克洛公司达成协议, 在爱达荷州东南部建造了一个小型核电站为其旗下数据中心提供电力
甲骨文 (Oracle)	-	-	2024年9月	公司正在设计一个数据中心, 预计需要超过 1 千兆瓦的电力, 而这将由三座小型核反应堆为其提供动力。

来源: 中国能源网、IDC、华尔街日报、国金证券研究所

二、小型核电 (SMR) 经济性、灵活性更高, 适用于 AI 数据中心

2.1 小型化是核电发展方向之一, SMR 具备经济性、灵活性、安全性更高的优势

核电技术发展可划分为四代, 当前处于三代技术成熟、四代核电试点时期。1942 年 12 月, 在美国芝加哥大学建成的世界第一座反应堆验证了可控的核裂变链式反应的科学可行性, 世界核电技术的发展可以划分为四代。从核电技术的发展看, 当前三代技术成熟、四代核电试点, 均为核裂变路线下的技术迭代。

图表 21: 核电技术发展可划分为四代, 当前三代技术成熟、四代核电试点

技术	特点	代表机型/技术
第一代核电技术	20 世纪 50~60 年代, 基于军用核反应堆技术, 由美国、苏联、加拿大、英国等国家设计、开发、建造的首批原型堆或示范电站, 验证了核能发电的技术可行性。	——
第二代核电技术	在第一代核能系统的技术可行性得到验证以后, 从 20 世纪 70~90 年代, 对这些经验证的机型实施了标准化、系列化、批量化建设, 至今仍在商业运行的核电厂, 绝大部分属于第二代或二代改进型技术。这一时期是商用核电厂大发展的时期。	主要由美国设计的压水堆核电机型 (PWR, System80) 和沸水堆核电机型 (BWR)、法国设计的压水堆核电机型 (P4、M310)、俄罗斯设计的轻水堆核电机型 (VVER), 以及加拿大设计的重水堆核电机型 (CANDU) 等。
第三代核电技术	派生于目前运行中的第二代核能系统。反应堆的设计基于同样的原理, 并吸取了这些反应堆几十年的运行经验, 进一步采用经过开发验证且可行的新技术, 旨在提高现有反应堆的安全性, 满足 URD (美国核电用户要求) 和 EUR (欧洲核电用户要求)。第三代核能系统的开发始于 20 世纪 90 年代, 第三代核电重在增加事故预防和缓解措施。降低事故概率并提高安全标准。	第三代核电机型主要有 AP1000、EPR、ABWR、APR1400、AES2006、ESBWR、CAP1400、华龙一号。
第四代核电技术	未来新一代先进核能系统, 无论是在反应堆还是在燃料循环方面都有重大的革新和发展。第四代核能系统的发展目标是增强能源的可持续性, 核电厂的经济竞争性、安全和可靠性, 以及防扩散和外部侵犯能力。	6 种典型四代堆型分别为气冷快堆 (GFR)、铅冷快堆 (LFR)、钠冷快堆 (SFR)、熔盐堆 (MSR)、超临界水冷堆 (SCWR) 和超高温气冷堆 (VHTR)。

来源: 国家能源局、国金证券研究所



图表22: 6种候选4代堆的特征

系统	功率等级 (MW)	冷却剂	出口温度 (°C)	燃料循环	中子范围
超临界水冷堆	300~700	水	510~625	开式/闭式	热/快中子
	1000~1500				
超高温气冷堆	250~300	氦	900~1000	开式	热中子
钠冷快堆	50~150	钠	500~550	闭式	快中子
	300~1500				
	600~1500				
铅冷快堆	20~180	铅	480~570	闭式	快中子
	300~1200				
	600~1000				
气冷快堆	1200	氦	850	闭式	快中子
熔盐堆	1000	氟化物盐	700~800	闭式	热/快中子

来源:《先进核能技术与展望》、国金证券研究所

小型模块化反应堆(Small Modular Reactors, SMR)是一种先进的核反应堆,发电功率在300兆瓦(MW)以下,发电量约为传统核反应堆的三分之一,一般在几十兆瓦到几百兆瓦之间。技术路线大多基于成熟商业化的第二代和第三代轻水反应堆或更安全可靠的第四代反应堆技术进行开发设计。

图表23: 按照功率大小划分核反应堆类型



来源: A. Vargas/原子能机构、国金证券研究所



图表24：小型模块化反应堆（SMR）技术路线

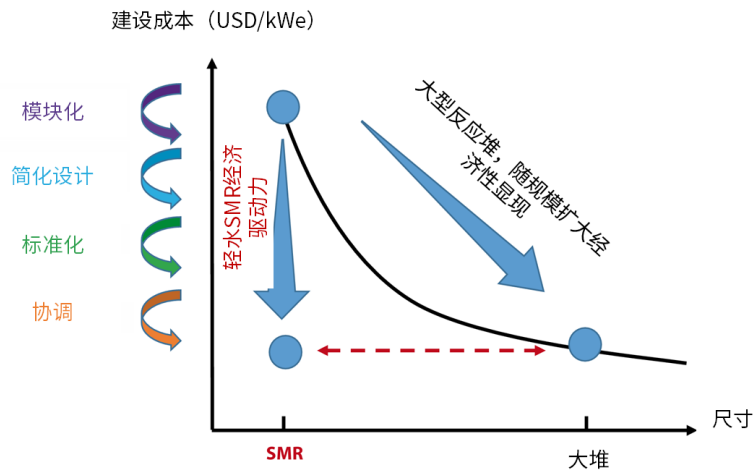
技术	特点
基于轻水堆的小型模块化反应堆	不论是单/多机组轻水 SMR 还是可运输式 SMR，其主要基于第二代和第三代轻水反应堆的进行开发设计，得益于轻水反应堆几十年的建造、运行和监管经验，这类 SMR 设计较为成熟，它们大约占到了正在设计开发的 SMR 的 50%。按冷却剂分类包括压水堆（PWR）、沸水堆（BWR）。
基于第四代反应堆技术的小型模块化反应堆	另外 50% 的 SMR 概念设计是基于第四代反应堆技术，采用了替代冷却剂（即液态金属、气体或熔融盐）、先进的核燃料和创新的系统配置。按冷却剂分类包括超高温气冷堆（VHTR）、钠冷快堆（SFR）、铅冷快堆（LFR）、熔岩堆（MSR）、气冷快堆（GFR）。
微型模块化反应堆	MMR 是一类特殊的 SMR，其装机容量小于 10 兆瓦，通常能够半自主运行，相对于较大的 SMR，其运输能力得到改善，MMR 主要用于偏远地区的离网运行。

来源：国家核安全局、IAEA、《小型模块化反应堆综述》、国金证券研究所

SMR 具备小型化、模块化、高安全性、灵活性和可持续性等特点。与传统核反应堆相比，SMR 体积更小，因此可以建在离电网更近的地方；SMR 建造时间更短，因此可以更快地投入使用，建设成本也更低，并可根据特定地点的需求进行调整；SMR 还可以选址在偏远地区以及输电线路和电网容量都不足的地区。此外，SMR 正被考虑用于电力和非电力应用，适于非基荷运行，能为核能、可变可再生能源和储能相结合、以热能、电力和氢形式为不同用户供应弹性清洁能源的综合能源系统的电网提供稳定性。

- 小型——体积仅为常规核动力堆的数十分之一；
- 模块化——系统和组件可在工厂组装，然后以机组形式运输到安装地点；
- 反应堆——利用核裂变产生热量，从而生产能源。

图表25：SMR 是实现核电小规模下经济性的关键技术



来源：NEA、国金证券研究所



图表26: SMR 具备其小型化、模块化、高安全性、灵活性和可持续性等特点

优势	特点
小型化与模块化	SMR 的显著特点之一是小型化和模块化。这种设计使得 SMR 的建造更加灵活，能够在工厂内进行大部分组装，然后运输到现场进行安装，大大缩短了建设周期。此外，模块化设计还有助于降低建设和运营成本，提高反应堆的经济性。
高安全性	安全性是核能发电领域的核心问题之一。SMR 采用了先进的反应堆技术和设计理念，如被动安全系统、多重安全屏障等，确保了反应堆在正常运行和事故情况下的安全性。这些技术使得 SMR 在安全性方面具有显著优势，能够大大降低事故发生的概率和影响。
灵活性与可持续性	SMR 的灵活性和可持续性也是其重要特点之一。由于 SMR 的功率较小，它们可以更容易地适应不同的能源需求和市场变化。此外，SMR 还可以作为分布式能源系统的一部分，为偏远地区或小型能源市场提供稳定的电力供应。这种灵活性使得 SMR 在能源转型和可持续发展方面具有重要作用。

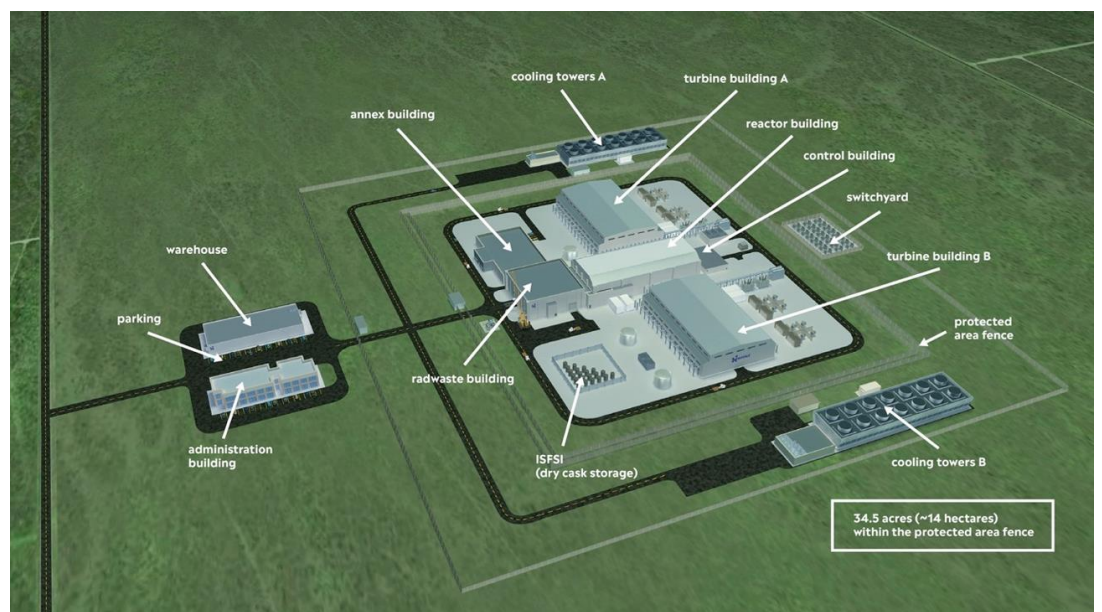
来源:《2025 年小型模块化反应堆行业现状与发展趋势分析》、国金证券研究所

2.2 SMR 建设周期更短、造价更可控，满足数据中心电源稳定和质量要求

SMR 凭借其模块化设计、复制机会、灵活性和缩短的施工时间，提供了一种有前途且具有成本效益的解决方案。SMR 可以为从偏远社区到大型电网的一切供电，使其适用于发展中国家、能源密集型行业、数据中心甚至商船。截至 2024 年 3 月，全球规划或在建的小型堆项目装机总量达到 22 吉瓦，较 2021 年上涨 65%，预计 2024 年将有 1760 亿美元投资进入该领域。IAEA 预计乐观情况下，到 2050 年总核容量增加 2.5 倍，并且 SMR 将占新增核容量的四分之一，发展前景广阔。

SMR 的各类优势使其在数据中心电源的长期供应里脱颖而出。从功率规模来看，小堆的功率通常低于 300 兆瓦，当前开发的很多种堆型的功率都在数十兆瓦左右，这与一个大型数据中心或超算集群的功耗相当。从可行性看，SMR 建设周期更短、造价更可控，并且相较于大型核电站，小型模块化更灵活，也可分期匹配数据中心的投产。

图表27: SMR 可仅占地 34.5 英亩，模块化适用于灵活配套数据中心电力需求



来源: Nuscale 官网、国金证券研究所

对比大型核电站，SMR 具备建设周期更可控、成本控制更优、更灵活、安全等特点。

(1) SMR 建设周期更可控。

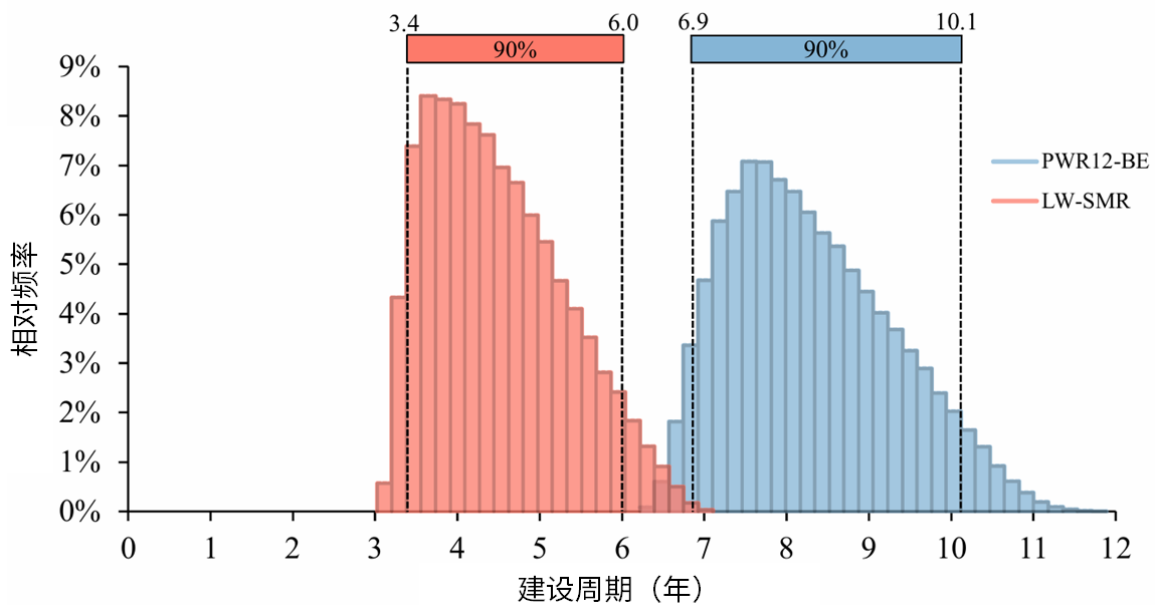
SMR 是一种“短周期”的核电方法，旨在避免大型压水堆项目遇到的一些制造和调试陷阱。其设计特点为模块化、工厂组装和可扩展，预计将更快地进入市场，目标建设时间为 3 到



5 年，相较建造大型压水堆所需的 10 年大幅缩短。

- SMR 中的术语“模块化”是指其可扩展性，以及在工厂环境中制造核蒸汽供应系统 (NSSS) 的主要组件然后将它们运输到现场的能力。这有助于减少现场准备工作，并且缩短施工时间。这一点非常重要，因为漫长的施工时间是大型机组的关键问题之一。此外，核蒸汽供应系统主要部分的工厂内制造和完工也可以促进实施更高的质量标准，例如焊缝检查。
- 大型核电站建设周期过长，不可控因素过多。SMR 相对于大型核反应堆的最大优势并不一定是大幅减少资本，而是更确定不会陷入多年的拖延和数十亿美元的成本超支的泥潭，这已经成为美国的核经验，最近的例子是 Vogtle 和 Summer 反应堆的经济困境。例如 Vogtle 核电站的 3 号和 4 号机组于 2013 年先后启动建设，但由于建设多次延期，这两台机组实际投运时间落后于计划 7 年，并且最终花费资金超过 300 亿美元，严重超出预算（原总造价估计为 140 亿美元）。

图表28: LW-SMR 比 PWR12-BE 建设周期更短



来源: Techno-economic analysis of advanced small modular nuclear reactors、国金证券研究所

(2) SMR 成本控制更优。

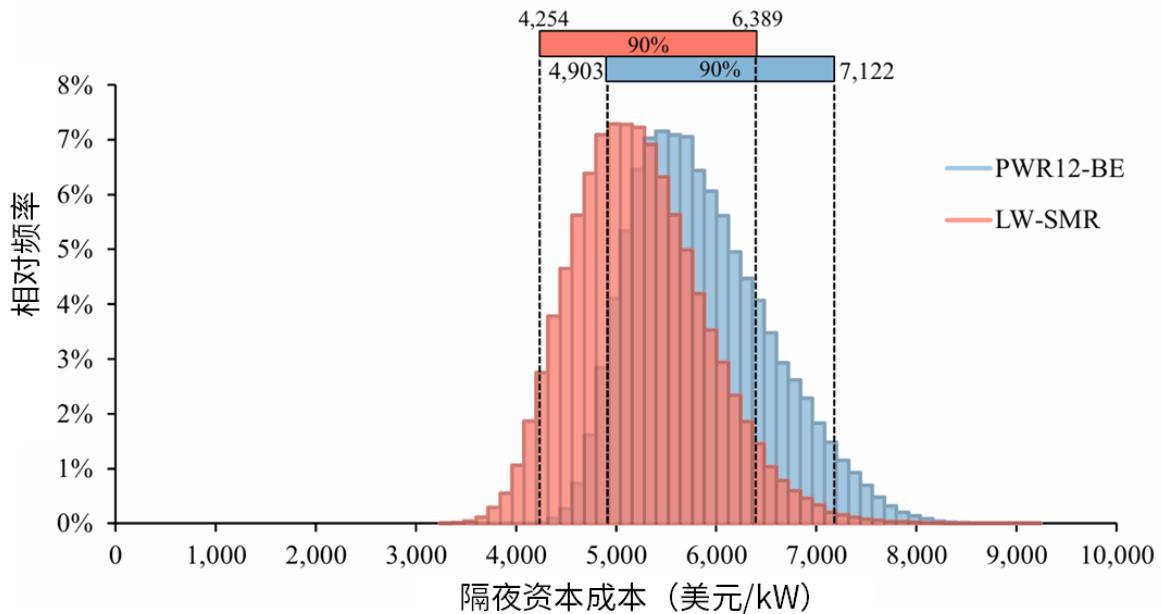
根据 IAEA 报告，建造 SMR 的隔夜资本成本 (OCC) 即不含利息资本开支为每千瓦 2,000~6,000 美元，此成本估算包括反应器、电厂辅助设施和其他相关基础设施成本，基于特定的反应器设计和项目位置彼此间具备较大资本成本差异。

与传统大型核电站相比，SMR 有望显著节省成本。大型核反应堆的每千瓦成本通常在 4,000~9,000 美元之间，对比 SMR，后者可以通过标准化设计和基于工厂的制造流程从规模经济中受益。此外，SMR 的较小尺寸和模块化特性可以降低场地准备成本并缩短施工时间，从而进一步节省成本。

- 根据统计，轻水小型模块化反应堆 (LW-SMR) 的隔夜资本成本 (OCC) 平均值为 5233 美元/千瓦，标准差为 655 美元/千瓦，90% 的概率在 4254 美元/千瓦至 6389 美元/千瓦之间。而传统大型压水堆 (PWR12-BE) 的 OCC 平均值为 5,859 美元/千瓦，标准差为 681 美元/千瓦，90% 的概率在 4,903 美元/千瓦至 7,122 美元/千瓦之间。



图表29: LW-SMR 比 PWR12-BE 的隔夜资本成本对比, 平均值和标准差均更小



来源: Techno-economic analysis of advanced small modular nuclear reactors、国金证券研究所

对比大型核电站, SMR 缩短工期降低了施工期间的间接成本和利息, LCOE 更低。

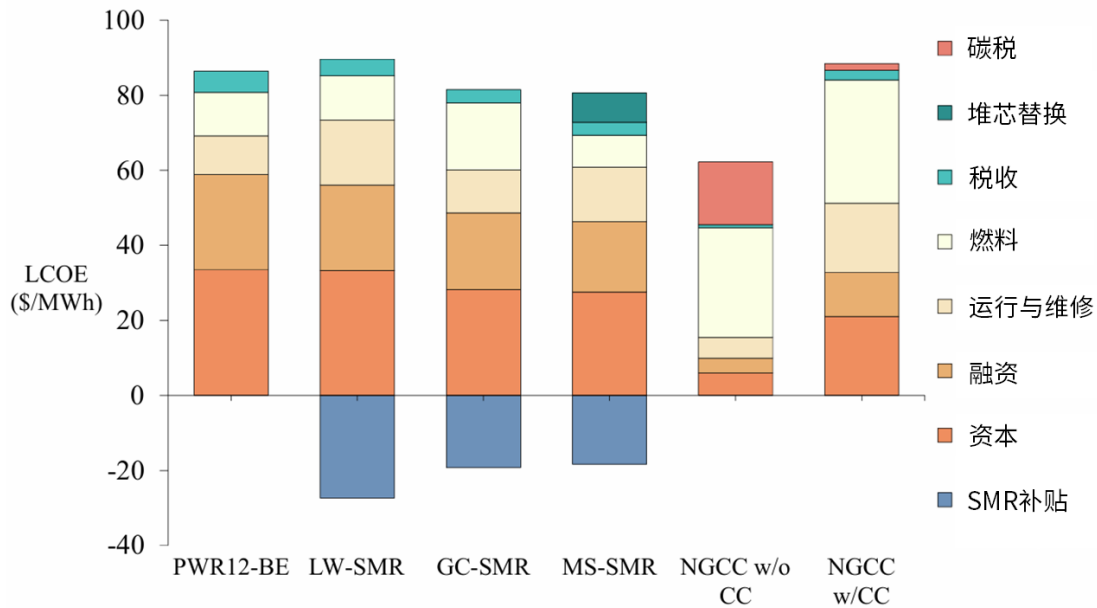
- 轻水小型模块化堆 (LW-SMR)、气冷小型模块化堆 (GC-SMR) 和熔盐小型模块化堆 (MS-SMR) 的 LCOE 分别为 89.6 美元/兆瓦时、81.5 美元/兆瓦时和 80.6 美元/兆瓦时, 压水堆 (PWR12-BE) 的 LCOE 为 86.4 美元/兆瓦时。其中 SMR 成本计算中包括美国《通货膨胀削减法案》(IRA) 中给予的 30 美元/兆瓦时补贴。

对比天然气发电, SMR 在碳税和补贴下发电经济性的相对优势将显现。通过碳税和补贴, SMR 将能实现与天然气联合循环 (NGCC) 电厂的 LCOE 平价。

- 无碳捕捉的 NGCC 以及 NGCC+碳捕捉技术的 LCOE 分别为 62.3 美元/兆瓦时和 88.5 美元/兆瓦时。其中, NGCC 的年燃料成本为 29.3 美元/兆瓦时, 约为 LW-SMR 燃料成本 (11.7 美元/兆瓦时) 的三倍。
- 加碳税后 NGCC 发电成本将大幅上涨, 此时 SMR 开始具备经济性竞争力。NGCC 发电的直接二氧化碳排放量为 336 公斤/兆瓦时, 加碳税后其 LCOE 将从 45.5 美元/兆瓦时提升至 62.3 美元/兆瓦时, 同比提升 37% (以碳税成本 50 美元/吨计算)。105 美元/吨的碳税将使 LCOE 与 MS-SMR 相等, 130 美元/吨的碳税将使其与 LW-SMR 相等。
- 除了征收碳税之外, 还可以向中小企业提供大量的前期资本补贴, 以协调成本。例如: 对 MS-SMR 的资本补贴 1280 美元/千瓦 (12.8 亿美元), 再加上 50 美元/吨的碳税, 将使 MS-SMR 的 LOCE 与无碳捕捉的 NGCC 相等。对 LW-SMR 的直接资本补贴 1948 美元/千瓦, 对 GC-SMR 的直接资本补贴为 1335 美元/千瓦, 将达到同样的效果。
- EIA 预计, 到 2050 年, 即使征收 25 美元/吨的碳税, 也会增加 59.1 吉瓦的新核电装机容量。与小型反应堆相关的经济风险降低, 再加上天然气碳社会成本的内部化, 对核电在应对气候变化方面的潜在作用具有深远的影响。



图表30: SMR 与传统大型核电站以及天然气联合循环电厂 LCOE 对比



来源: Techno-economic analysis of advanced small modular nuclear reactors、国金证券研究所

同时, 扩大规模将加速 SMR 成本下降速度, 与其他发电形式相比具有竞争力的水平。根据美国能源部研究, 在 2030 年至 2040 年期间, 至少需要开发 10 到 15 个项目——以单个标准 300MW SMR 容量, 总量约在 3,000 到 4,500 MW。在此规模水平上, 可以在整个核供应链中释放规模经济。

(3) SMR 拥有更好的安全性和灵活性。

小堆适合为区域电网或小型电网进行分布式部署。它具有功率可变化、模块化快速组装、运输便捷、出力稳定、适应性强等综合优势, 能像自备电厂一样专门供电。传统大堆的辐射应急计划区范围一般是 10 公里, 而小堆只有 500 米左右, 因此可以建在离城市、人口密集区更近的地方。

安全性: 堆芯的缩小使得功率输出更低, 同时得到了更高的表面积-体积比, 这将提高非能动安全系统在正常运行工况和异常运行工况下的效率。例如, 许多基于 LWR 的设计拥有非常大的水存量, 用于非能动冷却系统。对非能动冷却系统的依赖程度更高, 使得设计更加简化, 运行和维护也更加简化。

灵活性增强: 通过利用现有第二代反应堆的机动性能力, SMR 可以通过固有的设计特征以及多机组的运行优化, 实现负荷跟踪模式的增强。SMR 的灵活性还包括其部署能力(如选址限制较少)和产品多样性(热电联产)。

三、美国积极开展 SMR 机组建设, 国内重点把握国产设备机会

3.1 全球针对 SMR 政策支持力度逐渐加强, 集中在欧美和中国推进

全球有 80 多个小型模块堆设计和概念。其中大多数处于开发阶段, 部分近期可逐步部署落地。阿根廷、中国和俄罗斯目前有四个处于后期建设阶段的小型模块堆, 一些现有和新晋核能国家正在进行小型模块堆的研究和开发。全球 SMR 技术发展地区主要集中在欧美和中国。



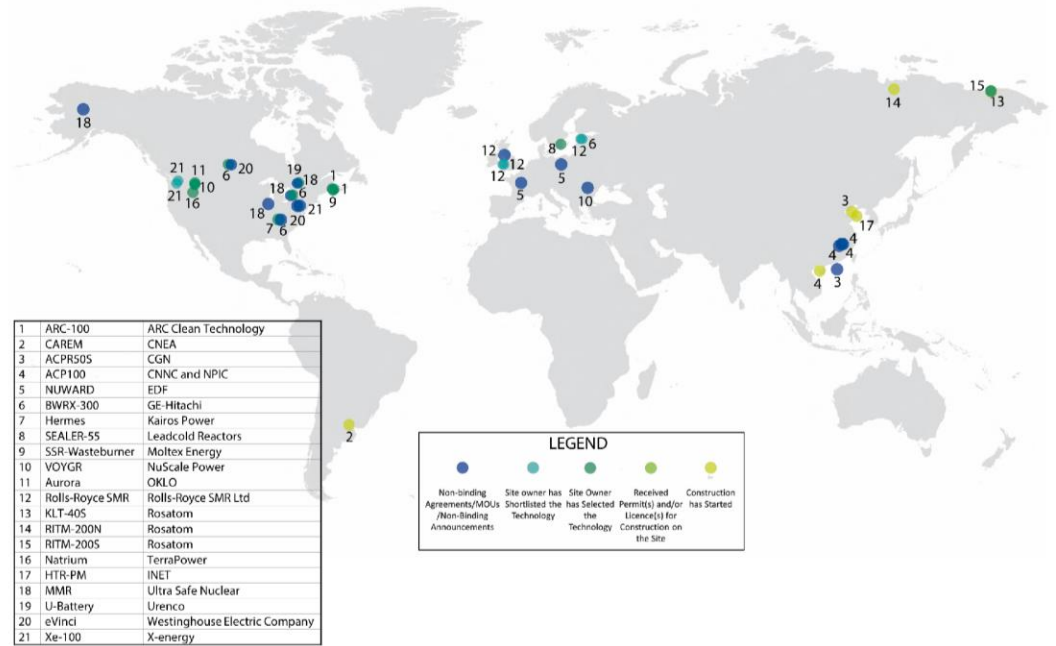
图表31: 全球处于研究中的 SMR

堆名	额定功率 (MW)	国家	供应商/工程公司	状态
轻水冷却(压水堆 PWR)				
ACP100	100	中国	CNNC	建造中
GAREM	27~100	阿根廷	CNEA/ INVAP	建造中
KLT-40S	35	俄罗斯	OKBM	已于 2019 年建成
mPower	125	美国	B&W/Bechtel	初步设计
NuScale	45	美国	Nu Scale/Fluor	施工设计
SMR-160	160	美国	Holtec	概念设计
W-SMR	>225	美国	西屋公司	概念设计
SMART	100	韩国	KAERI	施工设计
FLEXBLUE	160	法国	DCNS	概念设计
轻水冷却(沸水堆 BWR)				
VK-300	300	俄罗斯	RDIPE&NIKIET	概念设计
重水冷却(重水堆 HWR)				
PHWR	200	印度	印度核能公司	已经运行
气体冷却				
Antares	50	法国	AREVA	不详
EM2	240	美国	美国通用原子能公司	概念设计
HTR-PM	2 × 105	中国	清华/华能	施工建造
液态金属钠冷却				
PRISM	311	美国	美国通用电气和日立	概念设计
GEN4	25	美国	rGen4 能源(Hyper ion)	概念设计
4S	10	日本	东芝公司	概念设计
液态金属铅或铅铋冷却				
BREST	300	俄罗斯	RDIPE	详细设计
SVBR-100	100	俄罗斯	AKME (Rosatom)	详细设计

来源:《小型模块化反应堆综述》、国金证券研究所



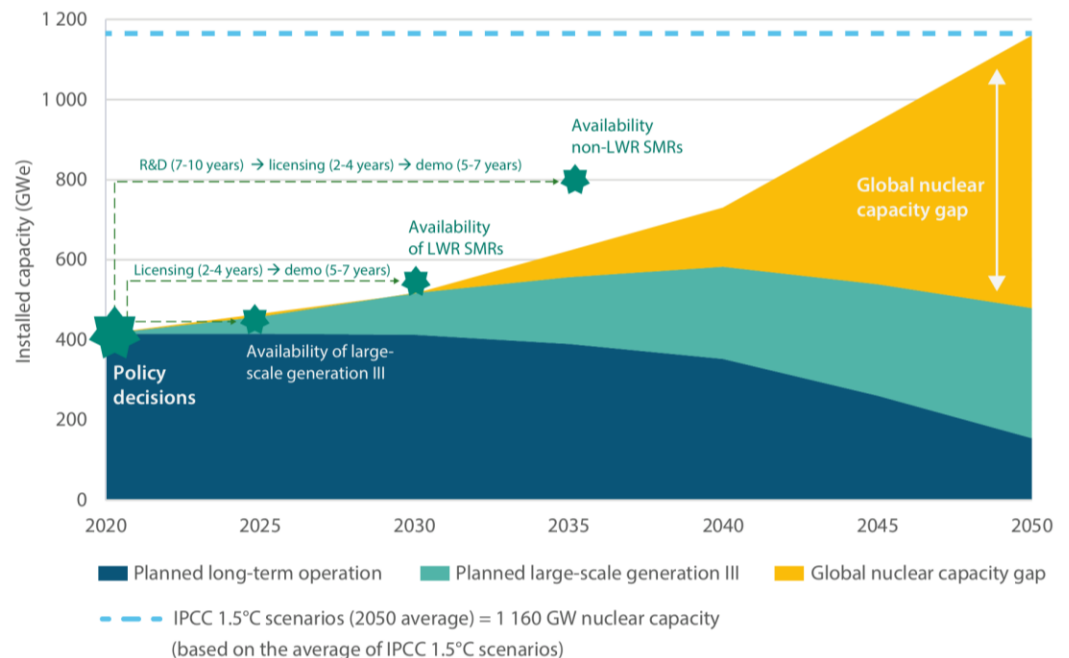
图表32: 全球 SMR 技术发展地区一览, 集中在欧美和中国



来源: NEA、国金证券研究所

小型反应堆将在完成核能装机目标和支持脱碳目标方面发挥关键作用。NEA 预计乐观情况下, 到 2050 年, SMR 的装机容量将达到 375GW, 在核能装机容量中占比 50%以上。SMR 从获得认证 (2-4 年) 到建设 (5-7 年) 完成落地运行需花费 7-10 年左右, 预计 2030 年起项目开始逐步示范落地。

图表33: SMR 预计 2030 年起开始规模化落地



来源: NEA、国金证券研究所

全球针对 SMR 的核能政策支持力度逐渐加强, 有利于推动项目的落地。美国、加拿大、欧洲、中国、日本、韩国、印度等均开始出台相关政策补贴或者 SMR 项目建设计划已经提上日程。其中, 美国由于电力系统并非全国“一张网”, 而是由多个区域电网构成, 适合发展 SMR, 为区域电网或小型电网进行分布式部署。



图表34: 全球针对 SMR 的核能政策支持力度逐渐加强

地区	支持政策
北美	《通货膨胀削减法案》、《基础设施投资和就业法案》以及能源部的几个项目为铀供应、运营 提供了超过 60 亿美元的公共补贴核容量、SMR 反应堆和新反应堆设计。
加拿大	大规模新建项目被搁置。SMR 部署正在积极探索中，GE-Hitachi 的 SMR 设计预计将于 2028 年在安大略省建造。
欧洲	英国实行双轨政策，同时建造新的压水反应堆（PWR）和 promote SMRs。法国已在其核能增长计划中增加了 8 个新反应堆。波兰计划建造 6 个 AP1000 反应堆，并正在考虑建造 SMR 工厂。土耳其正在建设 4.8 GW，预计建设时间约为 7 年。罗马尼亚已向 NuScale 授予该国第一座 SMR 发电厂的前端工程和设计（FEED）合同。
亚洲	中国在现有技术和新技术方面都在迅速发展。日本已批准将现有核能反应堆延长至 60 年以上。韩国的第十个电力计划以 6 个新反应堆为目标，并将稳定电力供应作为重中之重。在印度，超过 5 GW 的核电正在积极开发中，到 2031 年的目标是达到 22 GW。

来源：Woodmac、国金证券研究所

3.2 美国推动 SMR 积极性强，技术领先并且给予专项政策补贴

美国政府出台 IRA 法案以及针对 SMR 的专项资金补贴，推动核电发展，由能源部（DOE）通过政府资助项目支持小堆的研发。

- 现行 IRA 法案下核电市场电价位于目标价区间时触发补贴机制，补贴差价。2024 年为市场电价处于 25~43.75 美元/MWh 的机组提供至多 15 美元/MWh 的补贴，补贴后最高价为 45 美元/MWh，后续随通胀率调整。这意味着 IRA 法案为核电电价提供托底保障。考虑到新建核电成本显著更高，补贴金额上升至 27.5 美元/MWh (PTC) 或补贴投资金额的 30% (ITC)，有效期为项目投产后 10 年内，且不随市场电价波动退坡。

图表35: IRA 法案对在运/新建/重启核电项目的补贴支持情况

补贴类型	补贴方案	补贴金额	通胀调整	有效期	条件与限制
在运核电	PTC (45U)	15 美元/MWh	2025 年起随 GDP 平减指数	2024-2032 年	若市场电价>25 \$/MWh，补贴按 80%比例退坡 若市场电价≥45 \$/MWh，补贴退为 0
新建核电 (含 SMR) 二选一	PTC (45Y)	27.5 美元/MWh	2025 年起随 GDP 平减指数	项目投产后 10 年内	不随市场电价波动退坡 补贴时间限制为项目投产 10 年内
	投资税收抵免 (ITC)	初始投资金额的 30%	无调整	无明确时间限制	需符合特定劳工标准 (工资及本地雇佣要求) 需符合安全和环境要求
重启核电 (同新建)	退役核电重启支持	与 ITC/PTC 相同	2025 年起随 GDP 平减指数	具体项目审批时间	需满足安全和技术升级要求 通常需要 3-5 年重启周期

来源：IRA 法案、美国国会官网、国金证券研究所

- 美国给予三代改 SMR 高达 9 亿美元的专项资金补贴。2024 年 6 月 17 日，美国能源部（DOE）发布了一份意向通知，将提供高达 9 亿美元的资金，以支持美国第三代+小型模块化反应堆（Gen III+ SMR）技术的初步部署。2024 年 10 月 16 日，清洁能源示范办公室（OCED）开放了资金申请，申请截止日期为美国东部时间 2025 年 1 月 17 日。这笔资金将用于刺激美国的首批 Gen III+ SMR 部署，振兴和利用支持美国现有大型轻水反应堆设计的专业知识、劳动力和供应链，从而为新的核部署和运营提供方向。

图表36: 美国计划给予三代改 SMR 高达 9 亿美元的专项资金补贴

资金	具体内容
第一级资金	由清洁能源示范办公室（OCED）管理的先行者团队支持将提供高达\$800 百万的支持最多两个先发团队，该团队由公用事业、反应堆供应商、建造商和最终用户或电力采购商组成，致力于部署第一座工厂，同时促进多反应堆、第 III+ 代 SMR 订单簿，并有机会与国家核安全管理局（NNSA）合作，将保障和安全设计纳入项目。
第二级资金	由核能办公室（NE）管理的快速追随者部署支持将提供高达\$100 百万，通过解决阻碍国内核工业在设计、许可、供应商开发和场地准备等领域的关键差距，刺激额外的 Gen III+ SMR 部署。

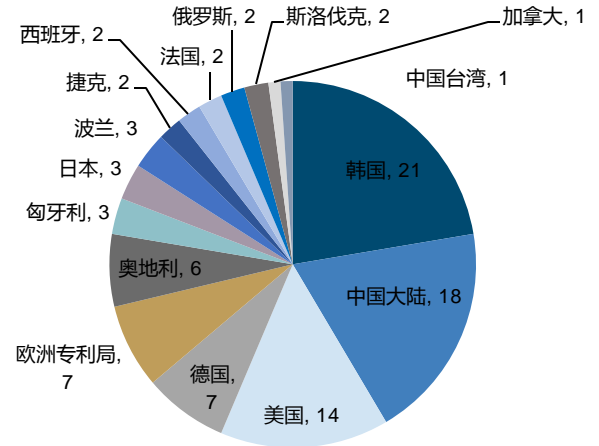
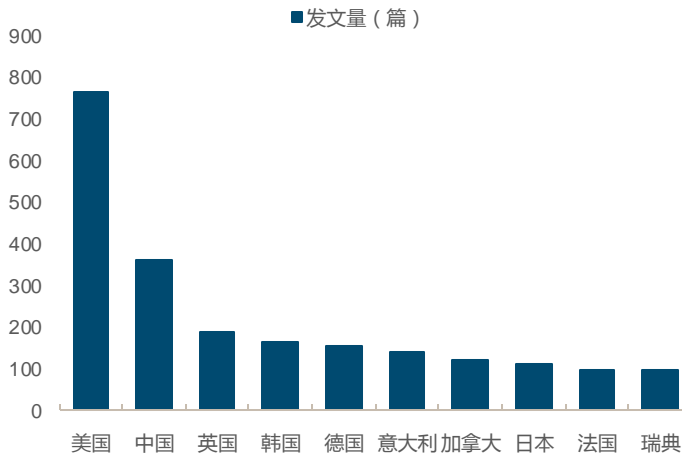


来源：DOE、国金证券研究所

美国作为 SMR 技术开发先锋，专利数量和相关发文量全球领先。国际原子能机构（IAEA）于 2022 年 3 月宣布发起核能发展协同和标准化倡议（NHSI），旨在加速先进核反应堆尤其是 SMR 的安全部署，以实现 2050 年净零排放的目标。美国的研究发文和专利数量全球领先，美国和中国是该领域发文总量排名前 2 位的国家，分别有 766 篇和 361 篇，约占总发文量的 43.8%，并且美国在专利申请方面位列前三。

图表37：小型模块化反应堆领域发文量美国第一

图表38：小型模块化反应堆授权专利美国位列前三



来源：《小型模块化反应堆发展现状与趋势》、国金证券研究所

来源：《小型模块化反应堆发展现状与趋势》、国金证券研究所

美国核管会（NRC）着手制定小堆设计的审查大纲与解决政策性问题，多个项目已进入工程设计或启动建设。2022 年 8 月，美国核管理委员会（NRC）审查通过了纽斯凯尔电力公司（NuScale Power）的一项 SMR 设计，也是 NRC 认证的首个 SMR 设计。然而，该 SMR 的建设项目却于 2023 年 11 月 8 日被宣布终止建设，原因是大多数潜在用户不愿承担开发此类项目的风险，无法获得足够的用户，但纽斯凯尔电力公司表示将继续与国内外客户合作，将其技术推向市场。并且现阶段，AI 数据中心的电力需求也再次将 SMR 发展迫切性推上议程。美国 Westinghouse Electric Company, GE-Hitachi Nuclear Energy, JAEA Consortium, Duke Energy 等 SMR 项目或设计正在申请认证流程中，预期相关项目和设计有望在 5 年内获得认证并且落地。

图表39：美国处在申请认证流程中的 SMR 项目或设计

项目/设计	申请类型	公司	状态
Deep Borehole Pressurized Water Reactor	预申请未来设计标准	Deep Fission, Inc.	进行中
Clinch River Nuclear Site	预申请建设许可证	Tennessee Valley Authority (TVA)	进行中
AP300	预申请设计认证	Westinghouse Electric Company (WEC)	进行中
SMR, LLC (Holtec) Designs	预申请	SMR, LLC, Holtec International 子公司	SMR-300 进行中
BWRX-300	预申请	GE-Hitachi Nuclear Energy (GEH)	进行中
Duke Energy Belews Creek	预申请地点许可证	Duke Energy	进行中
Japan Atomic Energy Agency (JAEA) Floating Seismic Isolation System (FSIS)	预申请	JAEA Consortium	进行中
Texas A&M University System RELLIS Campus	预申请地点许可证	Texas A&M University System	进行中

来源：DOE、国金证券研究所

美国 SMR 核电产业链迎来机遇，重点关注原材料及加工核燃料/反应堆组件制造、SMR 设计与研发，以下为产业链相关梳理。

(1) 铀矿开采和浓缩铀加工

铀矿开采

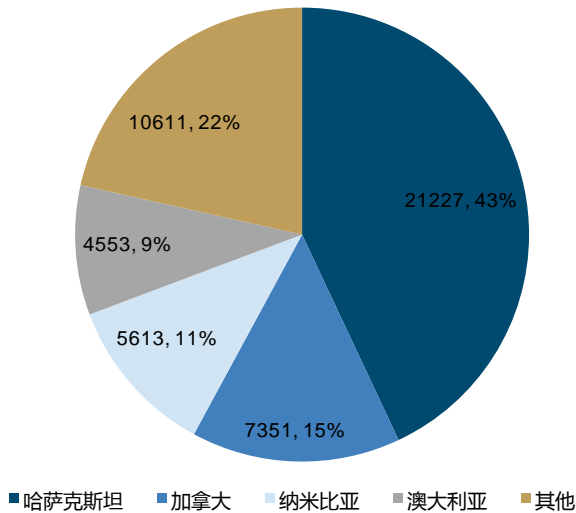
全球铀矿高度集中，美国铀主要依靠进口。全球铀矿资源的分布呈现出显著的地域集中特



征，主要集中在哈萨克斯坦、加拿大、纳米比亚及澳大利亚等关键地区。

主要铀矿开采国家及公司：哈萨克斯坦卡扎原子能公司（Kazatomprom）、加拿大卡梅科（ Cameco）、法国欧安诺（Orano）、俄罗斯铀一（Uranium One）、乌兹别克斯坦纳沃伊矿业（Navoi MMC）、中国中核集团、澳大利亚必和必拓（BHP）和俄罗斯国家原子能公司（Rosatom）等。美国本土的铀矿公司包括 Energy Fuels（NYSE: UUUU）、Uranium Energy（NYSE: UEC）等。

图表40：2022年全球各地区矿山铀产量分布，单位：tU 图表41：2022年各公司矿山铀产量情况



公司名称	所属国家	产量/tU	产量在全球占比/%
卡扎原子能	哈萨克斯坦	11373	23
卡梅科	加拿大	5675	12
欧安诺	法国	5519	11
中广核	中国	4627	10
铀一	俄罗斯	4454	9
纳沃伊矿业	乌兹别克斯坦	3300	7
中核集团	中国	3247	7
必和必拓	澳大利亚	2813	6
阿姆兹	俄罗斯	2508	5
通用原子/类星体	美国	1740	4
其他	-	4098	6

来源：世界核协会、国金证券研究所

来源：世界核协会、国金证券研究所

浓缩铀加工

对于需要长周期运行的数据中心来说，它们无法承受频繁的停堆换料导致的电力供应中断。因此，更高燃料浓度、更低换料频率特性，更满足数据中心企业的需求。采用长换料制，减少停堆换料时间，对提升 SMR 经济性带来好处。

HALEU(高浓度低浓铀)是 SMR 的燃料，燃料的铀-235 浓度更高，介于 5%到 20%之间，较传统的核反应堆燃料 LEU 浓缩度（铀-235 的浓度在 3%到 5%之间）更高。HALEU 的铀-235 浓度更高，能量密度更大，意味着在相同体积内可以产生更多的能量，同时对铀的需求量也更大。

图表42：SMR 对铀浓度要求更高，对铀需求量更大

设计	燃料类型	燃料浓缩度 (%)	热效率 (%)	堆芯排放燃耗 (GWd/吨)	换料周期 (月)
LWR land-based SMR					
NuScale	Uranium oxide (UO ₂) pellet/17x17 array	<5%	30%	>30	24
SMART	UO ₂ pellet/17x17 array		30%	<54	30
SMR-160	UO ₂ pellet/square array		30%	45	24
Nuward	UO ₂ /17x17 array		31%	-	24
BWRX-300	UO ₂ /10x10 array		32%	49.5	12-24
UK SMR	UO ₂ /17x17 array		35%	55-60	18-24
Mobile SMRs					
KLT-40S	UO ₂ pellet in silumin matrix	18.6%	23%	45.4	30-36
RITM-200	UO ₂ pellet/ hexagonal array	<20%	29%	-	72-84
Gen IV and MMRs					



Aurora	Recycled HALEU fuel (EBR-II used fuel)	-	38%	-	240
eVinci	HALEU fuel	5 - 19.75%	29%	-	> 36
Natrium	HALEU fuel	-	-	-	-
ARC-100	U-Zr alloy	13.1%	35%	77	20
Energy Multiplier Module (EM2)	Uranium carbide/hexagonal array	~14.5%	53%	130	360
Westinghouse Lead Fast Reactor	Uranium oxide, before transitioning to uranium nitrides	≤ 19.7%	47%	≥ 100	≥ 24
Integral Molten Salt Reactor (IMSR)	Circulating molten salt fuel (fluoride) with U	<5%	44%	-	84
Stable Salt Reactor	Static molten salt fuel (chloride) with Pu	Reactor grade Pu	40%	120-200	Online refuelling
KP-FHR	TRISO fuel	19.75%	44%	-	
U-Battery	TRISO fuel	-	40%	80	

来源：NEA、国金证券研究所

浓缩加工环节是整个铀产业链的核心部分，主要涉及将铀原料通过离心法、气体扩散法或激光浓缩法等技术进行浓缩处理，以生产出不同浓度的铀产品，相关企业不仅需要具备先进的技术和设备，还需要遵守严格的安全和环保标准。目前，由美国政府资助的先进反应堆设计中，十分之九将在未来十年内需要低浓铀燃料。美国能源部（DOE）的预测表明，到 2030 年，美国将需要超过 4 万公斤的高浓铀，随着新的先进反应堆投入运行，这一数量将逐年增加。

主要国际铀浓缩服务供应商：美国森图斯（Centrus）、欧洲铀浓缩公司（Urenco）、俄罗斯国家原子能工业集团（Rosatom）以及法国欧安诺集团（Orano）。

（2）核燃料/反应堆组件制造、SMR 设计与研发

SMR 反应堆的设计工作，包括堆芯设计、热工水力设计等；SMR 所需的关键制造设备，包括蒸汽发生器、反应堆压力容器、控制棒驱动机构等。目前，全球范围内已有多个国家和企业参与到 SMR 技术的研发和应用中，竞争格局呈现出多元化和国际化的特点。美国、俄罗斯和中国等国家在 SMR 堆型研发上处于领先地位。

美国的主要参与者包括：纽斯凯尔电力（NuScale Power）、西屋电气（Westinghouse Electric Company）、奥克洛（Oklo）、GE 日立（核能 GE Hitachi Nuclear Energy）等。

NuScale Power（纽斯凯尔电力）

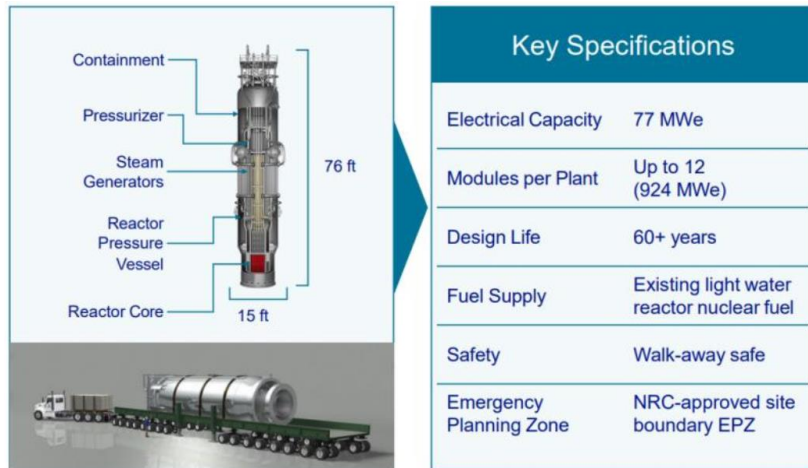
NuScale Power 是目前唯一一家获得美国监管批准并准备进行商业部署的小型模块化反应堆技术提供商和生产商。美国核管理委员会（NRC）已经完成了对 NuScale US600 小型模块化反应堆（SMR）设计认证申请的安全审查，其是一款轻水冷却压水反应堆（PWR）。2022 年 12 月，NuScale 提交了 US-460 新设计的审批申请，预计该设计将在 2025 年 7 月获得批准。

NuScale 发布的 77MW 模块化方案，可通过工厂预制方式将建造周期缩短至 36 个月，依据数据中心负荷需求设计模块数量，并且受场址约束更小。

- 公司自有的 VOYGR SMR 发电厂由自研的 NuScale 功率模块提供动力，可选 12 模块，6 模块和 4 模块的标准配置，可在 0.06 平方英里的土地上最高产生 924 MWe 电力（每个模块 77 MWe），对比风能发电厂需 94 平方英里、光伏发电厂需 17 平方英里土地。这使其成为在空间受限的地方（例如退役的燃煤电厂场地、数据中心等）生产无碳电力的理想选择。此外，VOYGR-12（12 模块）的全天候开启功能使其成为作为应急电源的解决方案：在基础设施发生灾难性损失后，VOYGR-12 可以在没有新燃料的情况下以 154MWe 的功率为任务关键型设施微电网供电 12 年。



图表43: NuScale 77MW 模块化小堆参数



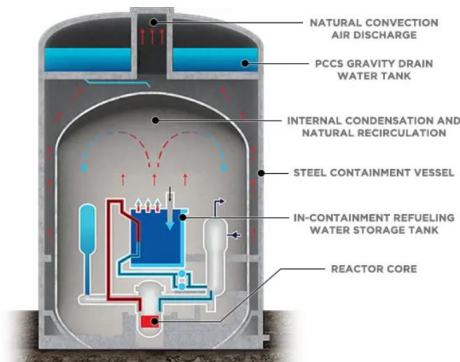
来源: NuScale、国金证券研究所

Westinghouse Electric Company (西屋电气)

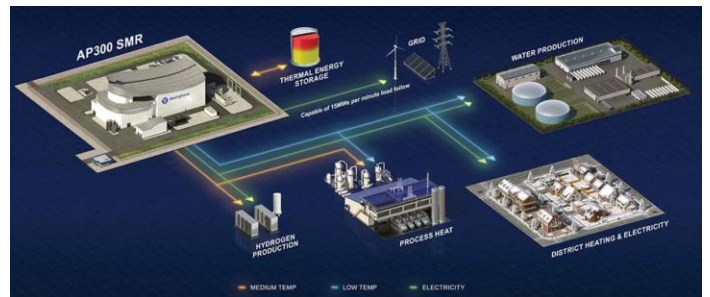
西屋电气宣布向美国核管会(NRC)提交其 AP300 小型模块化反应堆的预申请监管参与计划。AP300 小堆基于经过验证且获得许可的 AP1000 反应堆, AP1000 是唯一已投运的三代加(Gen III+)核能技术, 采用三代改压水反应堆(PWR)。AP300 小堆设计采用了西屋成熟的三代加技术, 该技术在美国、英国和中国获得了监管部门的批准, 并符合核电站的欧洲用户要求(EUR)标准。AP300 预计在 2027 年将获得设计认证, 随后在 2030 年获得特定厂址许可并建造第一个机组。

AP300 SMR 是对 AP1000 反应器的补充, 可实现更清洁的能源结构、能源安全以及电网灵活性和稳定性, 可成为社区清洁能源系统的支柱。灵活的性能提供了稳定现代可再生电电网的成熟能力, 包括快速负载变化能力, 以支持需求变化。包括支持区域供热、海水淡化和制氢的附加功能。

图表44: 西屋电气 AP300 SMR 模块图



图表45: 西屋电气 AP300 SMR 应用具备多功能性



来源: Westinghouse、国金证券研究所

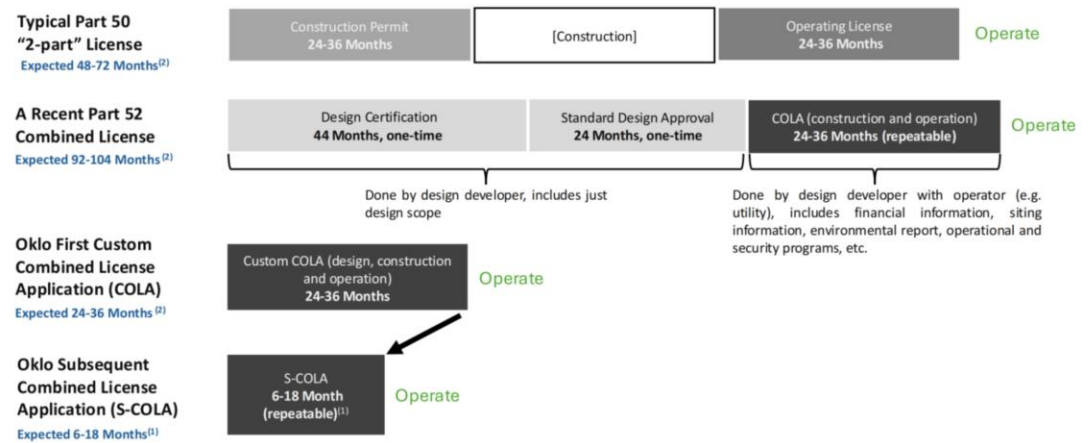
来源: Westinghouse、国金证券研究所

Oklo (奥克洛)

Oklo 专注于小型模块化反应堆(SMR)技术, 其 SMR 设计基于 EBR-II (二代钠冷快堆) 反应堆, 该反应堆运行至 1994 年, 是除轻水堆外唯一曾获得 NRC 批准的技术。目前 Oklo 的 Aurora 反应堆已获得美国能源部(DOE)的批准, 并得到了爱达荷国家实验室(INL)的燃料材料支持。公司正积极与美国核监管委员会(NRC)合作, 申请并优化许可证流程, 已推出新型许可证申请流程以加快审批速度。目标于 2027 年在 INL 调试 Aurora 反应堆, 使其成为美国完成的第一个先进核反应堆。



图表46: 奥克洛从建设到运营一体化的模式将加速 NRC 许可证审批



来源: Oklo、国金证券研究所

Aurora 发电厂反应堆正在与美国核管理委员会 (NRC) 开展申请前活动, 拟议的 Oklo 小型反应堆是液态金属冷却、金属燃料快堆, 最大功率水平为 15MWe。预计其首个反应堆的资本支出为每千瓦 4,000 美元, 规模化生产后成本有望降至每千瓦 2,000-3,000 美元。

- 单位建设成本: 单个 15 MW 动力站的初期成本约为 7000 万美元, 未来随着规模化发展可能下降至 6000 万美元。
- 收入潜力: 数据中心的 PPA 合同价格约为每兆瓦时 100 美元, 对应一个 15 MW 动力站可实现每天 3.6 万美元的收入, 年收入约 1310 万美元。

此外, Oklo 还以 2,500 万美元收购 Atomic Alchemy, 进军放射性同位素市场。

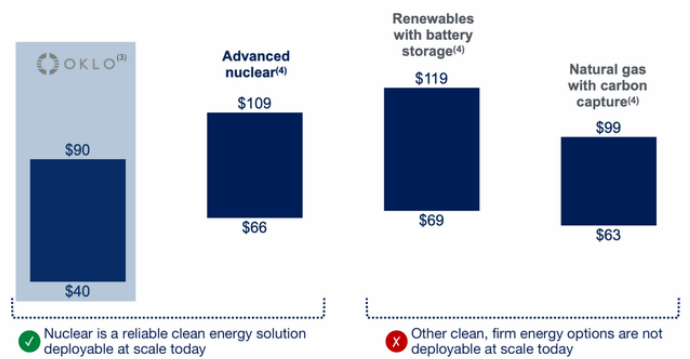
图表47: 奥克洛 SMR 建设成本随规模化发展下降

图表48: 奥克洛 SMR 经济吸引力高

\$ million	15 MWe ⁽¹⁾⁽²⁾		50 MWe ⁽¹⁾⁽²⁾	
	FOAK <i>First-of-a-kind</i>	NOAK <i>nth-of-a-kind</i>	FOAK	NOAK
Initial fuel cost	\$69	\$57	\$56	\$55
Plant cost	\$35	\$33	\$86	\$61
Annual revenue	13	13	36	36
Annual expenses	(5)	(3)	(9)	(7)
Annual cash flow	8	10	27	29
Unlevered return ⁽³⁾	12%	17%	19%	25%
Payback ⁽³⁾	8 years	6 years	5 years	4 years

来源: Oklo、国金证券研究所

Estimated LCOE of clean, firm energy resources (\$/MWh)⁽¹⁾⁽²⁾

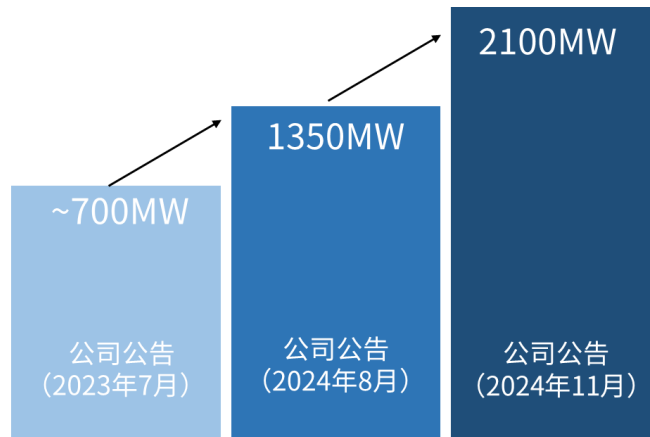


来源: Oklo、国金证券研究所

Oklo 已将自身定位为数据中心行业推动核能作为低碳燃料来源的关键参与者。目前, 公司已经在销售和业务开发方面取得进展, 其潜在购电协议 (PPA) 超 2GW, 包括 Equinix、Diamondback Energy 和美国国防物流署等客户。并且 2024 年 12 月, Oklo 与 Switch 共同签署了一份非约束性能源总协议, 根据该协议, Oklo 将部署 12GW 的 Aurora 微反应堆发电厂项目, 计划于 2044 年前完成, 为 Switch 遍布美国各地的数据中心提供电力。



图表49: 奥克洛潜在购电协议 (PPA) 合同超 2GW



来源: Oklo、国金证券研究所

GE Hitachi Nuclear Energy (GE 日立核能)

GE 日立核能的 BWRX-300 是一款 300MWe 水冷自然循环 SMR，带有被动安全系统，可用于发电和工业应用，包括制氢、海水淡化和区域供热。与典型的水冷 SMR 相比，它的每兆瓦资本成本降低了 60%，并且采用模块化和敞篷结构技术的组合，BWRX-300 可以在 24-36 个月内建造完成，同时将工厂布局的体积减少约 90%。此外，每兆瓦减少约 50% 的建筑体积也应该使每兆瓦的混凝土减少 50%，这在经济性和优势尺寸方面都有了显著改善。

加拿大、波兰、美国三国公司开展合作，合作方包括 GE 日立核能公司 (GEH)、田纳西流域管理局 (TVA)、安大略省电力公司 (OPG) 和 Synthos 绿色能源公司 (SGE)。通过合作开发标准设计，推进 GEH BWRX-300 小型模块化反应堆 (SMR) 的全球部署。TVA、OPG 和 SGE 这三家公司都已经宣布了 GEH 的 SMR 计划：

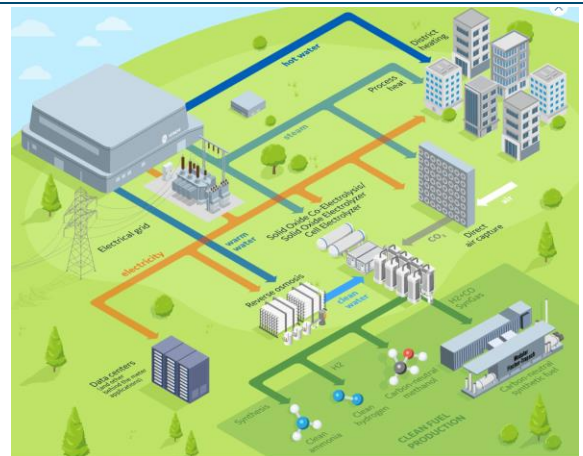
- OPG 已经开始在安大略省达灵顿新核项目现场准备 BWRX-300 工厂，这将成为北美第一个电网规模的 SMR；
- TVA 正在田纳西州橡树岭附近的 Clinch River Site 准备 BWRX-300 的施工许可申请；
- SGE 和 PKN Orlen 的合资企业 ORLEN Synthos Green Energy (OSGE) 已经在波兰开始了该反应堆的预许可流程，并开始了其第一台机组的选址流程。

图表50: BWRX-300 技术参数



- **Reactor type:** Boiling water reactor
- **Electrical capacity:** 300 MW(e) net to the grid
- **Primary circulation:** Natural circulation
- **Fuel enrichment:** 3.81% (avg)/4.95% (max)
- **Refueling cycle:** 12-24 months
- **Approach to safety systems:** Fully passive
- **Design life:** 60 years

图表51: BWRX-300 可用于发电和工业应用



来源: GE Hitachi、国金证券研究所

来源: GE Hitachi 国金证券研究所

3.3 国内明确支持小型模块化反应堆发展，陆上部署领先全球，关注国产设备

中国政策明确支持发展小型模块化反应堆，多用途 SMR 具有较为广泛的应用前景。

能源主管部门出台的《能源技术革命创新行动计划(2016—203 年)》明确提出推动能源技术革命，抢占科技发展制高点。我国将继续深入实施创新驱动发展战略，完善核能领域科



技术研发体系，支持小型模块化反应堆(SMR)、高温气冷堆、钠冷快堆、核能制氢等领域的科研和示范工作，助推清洁低碳能源供应。

预计 2030 年全球 SMR 市场规模将超过 500 亿美元，其中中国预计贡献约 15%。随着政策的支持和技术的成熟，中国将在未来几年加速推进 SMR 项目的建设，特别是在海上和偏远地区电力供应、工业加热以及辅助传统核电站提供稳定能源等方面。预计中国将在 2025 年前后开始首个商业化 SMR 项目的建设，并在 2030 年左右实现多项目并行运行。目前 ACP100、CAP200、和美系列一体化多用途供热堆、ACPR50S 均在积极部署工程示范项目的前期工作，满足不同领域的应用需求。

图表52：中国大陆小型模块化反应堆现状

堆型号	堆型	开发单位	功率	进展阶段
水冷小堆（陆基）				
ACP100	压水堆/PWR	中核集团	125200 MWt	工程示范
DHR-400	常压轻水堆/Pool Type LWR	中核集团	400MWt	详细设计
NHR-200	压水堆/PWR	中广核-清华	200 MWt	详细设计
和美一号	压水堆/PWR	国家电投	200MWt	详细设计
水冷小堆（海基）				
ACP100S	压水堆/PWR	中核集团	100MWe	详细设计
ACP25S	压水堆/PWR	中核集团	25MWe	初步设计
ACPR50S	压水堆/PWR	中广核集团	50MWe	详细设计
高温气冷小堆				
HTR-PM	高温气冷堆/HTR	清华-华能	2×100MWe	工程示范
	车载气冷微堆/GCR	中核集团	5MWt	概念设计
快中子小堆				
CL-100	铅铋快堆/LFR	中核集团	100MWe	总体设计
CLEAR	铅铋快堆/LFR	中科院	/	概念设计
CLFR-100	铅铋快堆/LFR	中广核	100MWe	概念设计
BLESS-D	铅铋快堆/LFR	国家电投	/	概念设计
熔盐小堆				
TMSR-LF1	熔岩堆/MSR	中科院	2MWt	工程示范

来源：中国核能行业协会、国金证券研究所

我国在陆上小型模块化反应堆部署方面领先全球，已完成载荷试验，预计 2026 年正式发电。我国的“玲龙一号”反应堆是全球首个通过国际原子能机构官方审查的三代轻水 SMR，也是全球首个陆上商用 SMR，“玲龙一号”（ACP100）于 2021 年 7 月开工建设，单台机组容量为 125 兆瓦。截至 2023 年 11 月，“玲龙一号”钢制安全壳下部筒体已吊装就位，环吊钩头完成全部载荷试验，满足可用条件，按照计划将在 2026 年正式发电，“玲龙一号”设备国产化率达 90% 以上。据初步估算，“玲龙一号”首堆建成后，每年可发电 10 亿千瓦时，可以满足 50 万户家庭的生活用电。

- 玲龙一号反应堆核心模块也被称作“玲龙之心”，是玲龙一号的核心部件，由中核集团中国核动力研究设计院自主设计和采购，中国第一重型机械股份公司承制，是 100% 的“中国制造”，集成了压力容器、蒸发器、主泵接管，并取消了主管道。
- “玲龙之心”不同于“华龙一号”堆型压力容器，它摆脱了当下传统核电压力容器样式，成功的将直流蒸汽发生器、主管道冷段、热段、过渡段、主泵泵壳均整合融入了压力容器之中，形成一体化模块下的压力容器。其设计创新既提高了核电站安全性和可靠性，又极大地缩短了工期，提高了经济性，是我国核工业设计先进理念的结晶。



图表53: “玲龙一号”反应堆核心模块吊装



来源: 中国核工业集团、国金证券研究所

重点关注国内 SMR 小堆产业链, 以及国产设备机会。随着头部科技厂商的资本开支浪潮逐步由海外扩散到国内, 国内的数据中心市场迎来了新一轮成长周期。尤其是 AI 数据中心发展带来的供电缺口, 为供电设备带来了爆发式需求, 带动国内小型核电站 (SMR) 的发展, SMR 小堆产业链迎来机遇。

- 上游主要包括核燃料供应、设备制造等环节。例如, 中核集团参与了小堆技术的研发和设备制造, 如中核的 ACP100。
- 中游涉及小堆的设计、建造和调试。例如, 海南昌江多用途模块式小型堆项目采用了中核“玲龙一号”技术, 展示了模块化设计和建造的优势。
- 下游包括小堆的运营、维护以及多用途应用, 如制氢、供热、海水淡化等。

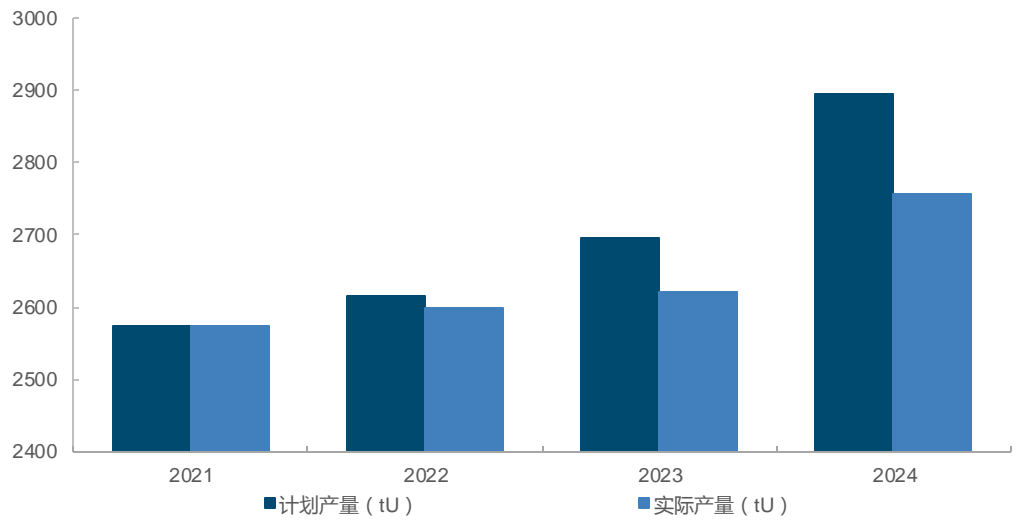
(1) 上游: 核电燃料, 企业议价权较高, 对资源、设计制造和技术等壁垒相对门槛更高

核燃料组件核心材料为二氧化铀燃料芯块, 由天然铀提炼而成, 天然铀占核燃料成本比例约 49% (约占核电发电总成本比例约 15%)。国内核电在建在运总量达全球之首, 美国牵头的三倍核能复兴计划提升海外天然铀需求预期, 全球天然铀供需或将偏紧。同时, 受供需关系调整的积极影响, 天然铀的市场价格迎来了上涨周期, 为铀矿企业带来了新的发展机遇。

中广核矿业有限公司是中国第一、全球第三大核电集团中国广核集团旗下天然铀贸易的上市公司, 主要从事天然铀的开发和贸易, 向中国广核集团运营的核电站供应天然铀资源。公司先后收购哈萨克斯坦谢米兹拜伊铀公司 49% 股权、加拿大 Fission Uranium Corp 19.99% 股权 (截至 2023 年底, 已稀释至 12.62%)、哈萨克斯坦奥尔塔雷克公司 49% 股权。公司通过谢米兹拜伊铀公司和奥尔塔雷克公司拥有谢矿、伊矿、中矿、扎矿四座铀矿 49% 的天然铀产品包销权, 并参股 Fission 公司矿山 PLS 项目。公司从在产四座矿山包销的自产天然铀直接供给国内核电。



图表54: 2021-2024 年年中广核矿业天然铀产量情况

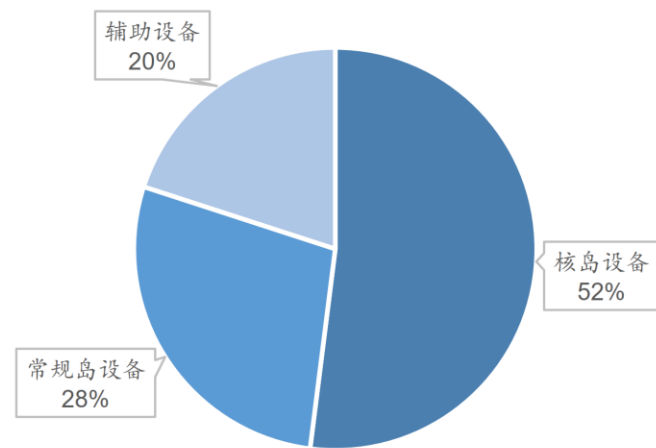


来源: 中广核矿业公司公告、国金证券研究所

(2) 中游: 核电设备, 拥有高技术壁垒

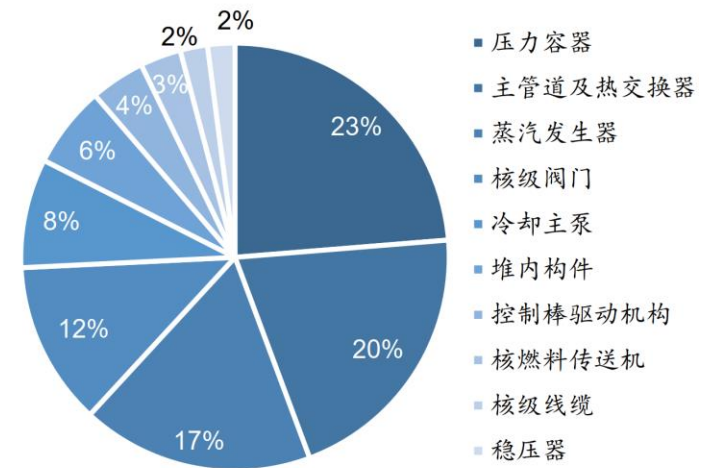
核岛设备高技术壁垒, 三代核电发展带动国产化百亿市场。从价值量拆解来看: 核电设备价值占机组比例约 50%, 核岛占核电设备价值的 46%左右。往后看, 在当前国产化率水平下, 假设“十四五”期间年核准新建 8~10 台, 按照三代机组单台 120 万千瓦, 单位成本 1.6 万元/KW 测算, 对应核岛设备新增市场空间在 353~442 亿元(考虑国产化率 90%, 对应国产核岛设备市场空间约为 318~397 亿元)。

图表55: 核电设备价值中心在核岛



来源: 中国核电公告、中国广核公告, 国金证券研究所

图表56: 核岛设备价值量拆分



来源: 中国核电公告、中国广核公告, 国金证券研究所

核能设备国产化程度已达 90%, 主设备产品主要由国企把控, 民企主要布局细分零部件。核岛设备是核电设备的核心, 主要设备包括反应堆压力容器、堆内构件、蒸汽发生器、控制棒驱动机构、主泵和主管道等, 都是核安全级设备, 质量要求极高。核岛的主设备核心产品主要由国企垄断: 上海电气、东方电气、哈电集团为三大核电设备制造集团, 中国一重、二重和上重为主要的锻件和反应堆容器制造集团。民企主要供应其余细分零部件, 如阀门、乏燃料运输等。


图表57: 核电产业链主要设备企业

产业链环节	产业链产品	公司
设备端	冷却主泵、蒸汽发生器、压力容器、控制棒驱动机构、堆内构件	上海电气
	核阀门	纽威股份
	冷却主泵、蒸汽发生器、压力容器、稳压器	东方电气
	冷却主泵、蒸汽发生器	哈电集团
	DCS 控制系统	广利核
	安全壳	中国核建
	安全阀、乏燃料处理	江苏神通
	压力容器、主管道	中国一重
	控制棒驱动机构	浙富控股

来源: Wind、国金证券研究所

对于 SMR 设备, 多家上市公司披露旗下有产品应用于“玲龙一号”之中。

图表58: 国内参与“玲龙一号”开发和零部件供给的企业

公司	参与环节	具体内容
中国核电	设计开发反应堆, 玲龙一号	公司拥有国内最丰富的核电在建和运行机组堆型, 其中压水堆包括 CP300、CP600、CP1000、华龙一号、玲龙一号、VVER-1000、VVER-1200、AP1000 等。
国机重装	波动管	公司参与玲龙一号小型堆波动管等零部件研制。
安泰科技	难熔钨合金材料	公司难熔钨合金材料应用于“玲龙一号”, 且公司目前在难熔材料、精密带材、多孔过滤材料、超硬材料、焊接材料等多个领域为核电提供配套产品
江苏神通	核级阀门	公司是“玲龙一号”项目阀门类的主要供应商之一。

来源: 公司公告、国金证券研究所

(3) 下游: 核电运营, 中国核电与中国广核为行业“双寡头”。

下游环节中, 我国具有核电运营资质牌照的公司包括中国核工业集团、中国广核集团、国家电投和中国华能。

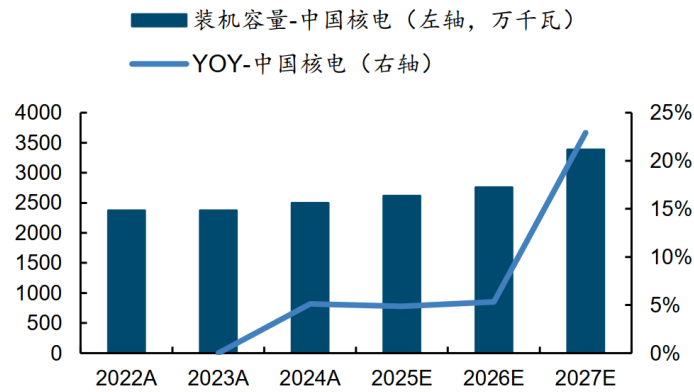
(1) 中核: 10M24 漳州#1 换料完成, 预计年底并网; 10M24 漳州#2 倒送电完成, 参考福清#6 历史进度预计 10M25 并网, 25 年考虑并网节奏后的装机容量、电量将同比+5.9%。首运享受税收优惠、免提乏燃料处理费, 参考福清或将增厚平均度电盈利。

(2) 中广核: 9M24 惠州#1 热试完成, 预计 1H25 投产。惠州电站目前由集团持股 82%, 权益装机增量可观, 未来计划惠州#1、惠州#2 一并注入, 考虑到惠州#2 计划 26 年投运, 届时或迎来更大弹性。

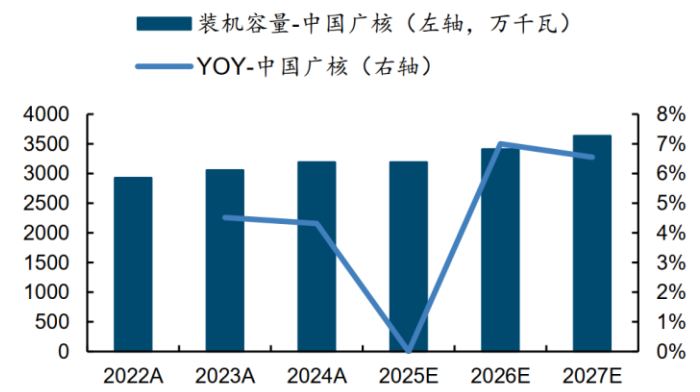
(3) 国电投: 核电资产计划注入电投产融平台。本次电投产融重组置入标的为国电投核能有限公司(简称电投核能), 控股山东海阳核电, 参股辽宁红沿河核电、浙江三门核电、浙江秦山二/三核。截至 11M24, 电投核能控股(包括共同控制)在运核电机组 8 台(海阳#1#2、红沿河#1~#6), 装机规模 921 万千瓦; 管理国家电投集团控股核准在建机组 8 台, 装机规模 1056 万千瓦; 另外拥有广东、广西、山东等沿海储备厂址待纳入规划



图表59：中国核电未来三年装机预测



图表60：中国广核未来三年装机预测



来源：中国核电公告、国金证券研究所

来源：中国广核公告、国金证券研究所

图表61：牌照垄断下核电央企集中度高

核准时间	核准机组情况	年合计 (台)	项目归属
2019 年	广东太平岭核电站 (1#、2#)	4	中国广核
	福建漳州核电站 (1#、2#)		中国核电
2020 年	海南昌江核电站 (3#、4#)	4	华能集团
	浙江三澳核电站 (1#、2#)		中国广核
2021 年	浙江三澳核电站 (1#、2#)	5	中国核电
	辽宁徐大堡核电站 (3#、4#)		中国核电
	海南昌江小堆机组		中国核电
2022 年	浙江三门核电站 (3#、4#)	10	中国核电
	广东陆丰核电站 (5#、6#)		中国广核
	山东海阳核电站 (3#、4#)		国电投
	福建漳州核电站 (3#、4#)		中国核电
	广东廉江核电站 (1#、2#)		国电投
2023 年	山东石岛湾电站扩建一期 (1#、2#)	10	华能集团
	福建宁德核电站 (5#、6#)		中国广核
	辽宁徐大堡核电站 (1#、2#)		中国核电
	广东太平岭核电站 (3#、4#)		中国广核
	浙江金七门核电站 (1#、2#)		中国核电
2024 年	浙江三澳核电站 (3#、4#)	11	中国广核
	广东陆丰核电站 (1#、2#)		中国广核
	山东招远核电站 (1#、2#)		中国广核
	广西白龙核电站 (1#、2#)		国电投
	江苏徐圩核电站 (1#、2#、气冷堆)		中国核电

来源：国务院、核电纵横、国金证券研究所

(4) 核能制氢

核能制氢是通过将核反应堆与先进的制氢工艺相结合以实现大规模生产氢气，以来源丰富的水为原料，利用热和/或电实现氢的大规模生产，具有不产生温室气体、效率高、规模大等优点，是未来氢气供应的重要解决方案。核能制氢将核反应堆与制氢工艺耦合，既能实现制氢过程的无碳排放，还可有效拓展核能的利用方式，提高核电厂的经济竞争力。

核能制氢具有以下优势：



(1) 可有效承接核能弃电，提升核能利用率

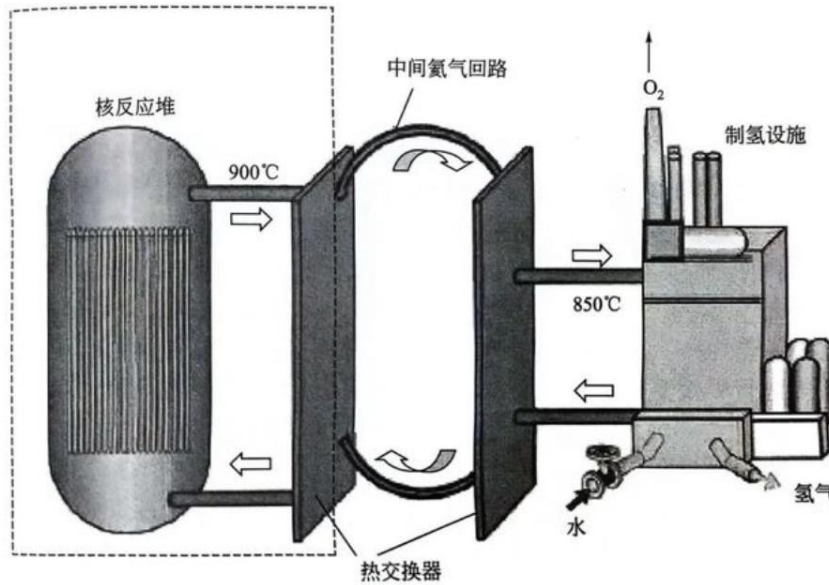
核电站开启后关停成本极高，一般每连续工作 1-1.5 年才关停做检修。用电端的波峰波谷使得在波谷无法消纳和存储。核能弃电制氢能够为核产业提供额外产出，利于维持正在老化的反应堆的服役状态，避免核设施的废弃；耦合制氢可实现核电生产与需求曲线匹配，提高核能的利用率和竞争力。

(2) 可提升制氢效率，降低制氢成本

全球 95% 工业氢采用蒸汽甲烷重整工艺，成本低但生成额外的二氧化碳。采用核能进行甲烷热分解 (TDM) 制氢，过程中产生的碳是纯固体碳或炭黑，易捕捉，热解所需高温可由核电厂直接提供。这种方式能量需求极低，比常规水电解低 8 倍，而产生的氢能比常规水电解水高出几倍。

(3) 与传统制氢方式相比，基于核能生产的氢碳强度显著降低，因此有助于减少重工业和长途运输中的全球温室气体排放。

图表62：核能制氢原理示意图



来源：国际氢能网、国金证券研究所

高温气冷堆为核能制氢的首选方案。核能制氢的技术路线可分为核电制氢（机组为制氢提供电能）、核热制氢（机组为制氢提供热能）和电热混合制氢（机组为制氢提供热能和电能）三种。能够与制氢工艺耦合的反应堆有多种选择，但从制氢的角度来看，制氢效率与工作温度密切相关，高温（出口温度 700-950°C）和超高温反应堆（出口温度 950 °C 以上）是最优选择。

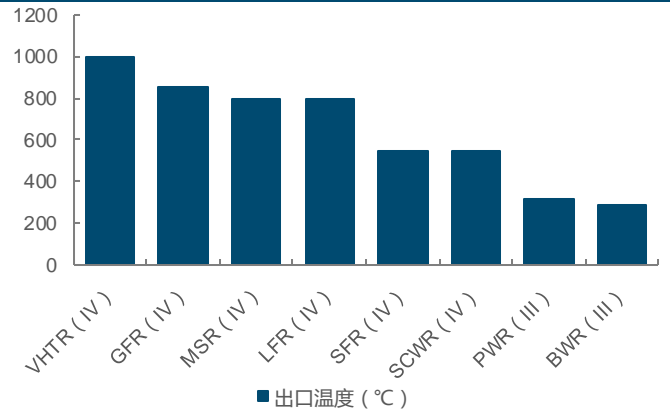
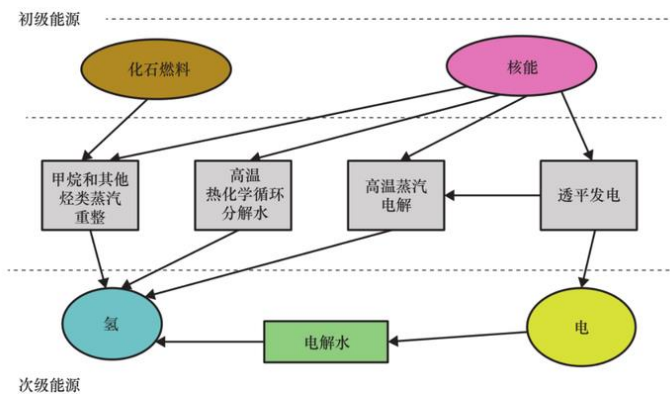
- 核电制氢：一般的电解水制氢，该工艺产氢效率（55%~60%）较低，美国开发的 SPE 先进电解水技术可将电解效率提升为 90%，即便如此，由于核电站的热电转换效率仅为 35% 左右，因此核能电解水制氢最终的总效率只有 30% 甚至更低。在目前成熟的制氢工艺中，电解水制氢的成本最高，因此核电制氢目前基本不具备竞争优势，很难规模化推广应用。
- 核热制氢：热化学制氢，是将核反应堆与热化学循环制氢装置耦合，使水在 800°C 至 1000°C 下催化热分解，从而制取氢和氧，热能至氢能的转换率可达 60% 甚至更高，目前的最优方案是美国通用原子能公司开发的碘硫循环。
- 电热混合制氢：利用先进核反应堆提供的工艺热（约 30%）和电能（约 70%），在 750°C 至 950°C 的高温下将水蒸气高效电解为氢气和氧气，其制氢效率接近 60%。
- 核热制氢和电热混合制氢：目前技术成熟度仍较低，面临的主要挑战是耐高温材料的研发。制氢工艺都需要核反应堆提供高温工艺热，但这类反应堆全部属于第四代反应堆，目前除了高温气冷堆建成示范项目之外，其它的堆型均处于研究设计阶段，尚未进行工程验证，距商业化推广仍有较长时间，且面临很大不确定性。因此，美、英、



日以及中国等核大国目前都将高温气冷堆(high temperature gas-cooled reactor, HTGR)列为核能制氢的首选方案。

图表63: 核能制氢技术路线

图表64: 不同反应堆技术的出口温度



来源: 国际氢能网、国金证券研究所

来源: 北极星电力网、国金证券研究所

HTGR 与 SOEC 耦合可以用一个反应堆同时为 SOEC 提供热能和电能, 既可实现绿氢制备, 也可满足核能的多样化应用需求。SOEC 技术采用固体氧化物作为电解质材料, 具有能量转化效率高且不需要使用贵金属催化剂等优点, 理论效率 100%。此外还可以直接通过蒸汽和 CO₂ 生成合成气, 以用于各种应用, 例如液体燃料的合成。

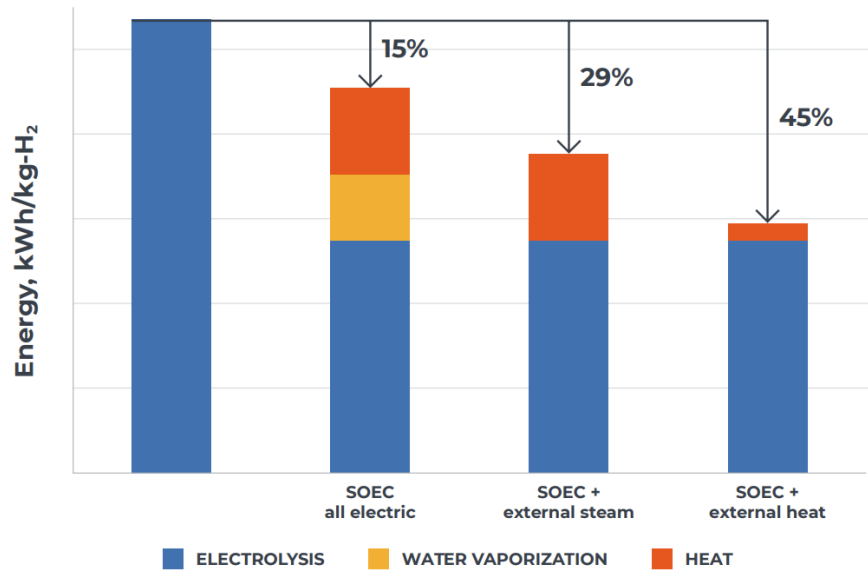
图表65: 主流制氢路线对比

	碱水电解池 (ALK)	纯水电解池 (PEM)	固体氧化物电解池 (SOEC)
电解质	20-30%KOH, 液体	PEM (Nafion), 固体	Y ₂ O ₃ /ZrO ₂ , 固体
工作温度°C	≤90	≤80	700-1000
电流密度 A/cm ²	0.2-0.4	1-2	1-10
能耗 kWh/Nm ³ H ₂	4.5-5.5	3.8-5.0	2.6-3.6
启停时间	快速启停	快速启停	启停不便
电堆寿命/h	12,000	10,000	10,000
技术成熟度	技术成熟, 商业化	示范阶段	实验室阶段
系统维护费用	高	低	低
电解槽成本 (元/w)	2,800-4,200	14,000	7,000-10,500

来源: 《电解水制氢技术进展》、中国化信、国金证券研究所



图表66: 高温 SOEC 与其他低温电解槽能量消耗对比



来源: Bloom Energy 官网、国金证券研究所

核能与 SOEC 技术相结合相比其他电解过程具有更低成本生产氢气的潜力: 1) 电解在高温下进行, 这意味着生产氢气所需的电能更少; 2) 核电厂平均可在高达 95% 的时间内持续发电, 显著高于其他可变能源; 3) 核能既可以提供热能, 也能提供电能。通过直接利用热能, 可以避免蒸汽轮机中的能源损失, 从而提高核电厂的有效能源容量, 使得高于其电能额定值。

图表67: 国内 SOEC 相关企业和项目及发展情况

企业	具体情况
三环集团	经过近 20 年的持续投入与技术攻关, 三环集团现已成为全球 SOFC/SOEC 产业链的核心环节之一, 掌握从材料、单电池、电堆、到系统的 SOFC/SOEC 全技术链条研发及量产能力, 拥有 50 余项核心专利, 率先推出国内首台 35kW 和 50kW 大功率 SOFC 发电系统, 并牵头承担“十三五”“十四五”国家重点研发计划。同时, 三环为全球 SOFC/SOEC 龙头 Bloom Energy 的主要材料供应商。
壹石通	壹石通计划投资 12.1 亿元建设年产 1GW 固体氧化物能源系统项目, 建设周期为 3 年。项目建成达产后, 将形成年产 1GW 固体氧化物能源系统的生产规模, 包含固体氧化物燃料电池 (SOFC) 和固体氧化物电解池 (SOEC) 产品。
思伟特	2023 年思伟特 10kW 级 SOEC 制氢系统样机正式下线, 并完成了全部性能测试。该系统样机在第一代系统设计的基础上进行了全面升级, 制氢效率、稳定性和安全性得到全面提升。测试结果显示, 系统产氢量达到 3.23Nm ³ /h, 耗电量 3.6kWh/Nm ³ , 系统效率大于 82%。
质子动力	2019 年创立, 同时布局 SOEC/SOFC 的电池片、电堆、系统全产业链的研发及产业化。团队深度掌握了 20x20cm ² 单电池片技术 (面积最大), 2021-2022 年成功交付千瓦级 SOEC、SOFC 系统, 相关性能指标国内较高水平。拥有 SOFC 863 项目经验及 SOFC/SOEC 样机打造经验。2023 年 3 月, 质子动力在青岛上合示范区工厂举办了 SOEC/SOFC 青岛生产基地暨电池片和电堆一期 MW 级产线投运仪式。
华科福赛	华科福赛研发的 15x15cm ² 单电池固体氧化物电解池 (SOEC) 电堆稳定运行时间已超过 1040 小时。
氢邦科技	中科院宁波材料所孵化的浙江氢邦科技开发了基于 SOEC 使用 CO ₂ 与 H ₂ O 电解的高效率千瓦级电堆。

来源: IHFCA、索比氢能、国际氢能网、艾邦氢能网等、国金证券研究所

四、投资建议

能源结构转型加速, AI 数据中心的电力需求增长为核电复苏提供新支撑。“核电站+数据中心”供能合作模式已经开启, 美国科技巨头开始下场推动。从目前供电合作的趋势看, 小型核电站 (SMR) 受益于更高的效率和更低的成本, 考虑长期供电稳定性、经济性等因素, 有望成为数据中心长期供电保障的最佳选择。核电的装机和新技术的发展将带动中游核设备与材料产业链、上游核燃料供应链的复兴, 美股核电相关公司如下。



图表68：美国核能产业链上游和中游相关上市公司

产业链	代码	公司名称	市值 (亿美元)	相关业务
上游-铀开采	CCJ.N	Cameco	224.69	目前全球最大的铀矿公司、全球最大的铀交易商、也是世界上第三大的铀生产商，通过其美国和加拿大的矿山，控制全球约18%的产量。
上游-铀开采	UEC.A	Uranium Energy	29.95	美国领先、增长最快的铀矿开采公司。在美国、加拿大和巴拉圭共和国从事铀和铀精矿的勘探、预提取、提取和加工。
上游-铀开采	UUUU.A	Energy Fuels	10.24	开采铀和生产天然铀精矿，并且出售给核电厂以生产无碳核能，拥有美国两个主要的铀生产中心。
上游-铀开采	DNN.A	Denison Mines	16.78	从事加拿大铀矿的收购、勘探和开发。拥有加拿大萨惠勒河铀项目95%的有效权益。
上游-核燃料加工	LEU.A	Centrus Energy	49.08	美国公司，供应用于核电厂的核燃料，并致力于开发和部署先进的离心机技术，为商业和政府用途生产浓缩铀，包括用于国家安全。
中游-SMR 研发制造	SMR.N	NuScale Power	56.10	拥有第一个也是唯一一个获得美国核能管理委员会(NRC)标准设计批准的SMR。
中游-SMR 研发制造	OKLO.N	OKLO	35.64	Oklo 专注于小型模块化反应堆(SMR)技术，其SMR设计基于EBR-II(二代钠冷快堆)反应堆，公司自有的Aurora发电厂反应堆正在与美国核管理委员会(NRC)开展申请前活动。
中游-SMR 研发制造	NNE.O	Nano Nuclear Energy	9.06	正在开发下一代先进核微反应堆，特别是ZEUS(一种实芯电池反应堆)和ODIN(一种低压盐冷却剂反应堆)。
中游-SMR 研发制造	BWXT.N	BWX Technologies	111.95	美国核组件和核燃料公司，在美国、加拿大和国际上制造和销售核部件。

来源：Wind、美股之家国金证券研究所，数据截至2025/01/22

随着头部科技厂商的资本开支浪潮逐步由海外扩散到国内，国内的数据中心市场迎来了新一轮成长周期。尤其是AI数据中心发展带来的供电缺口，为供电设备带来了爆发式需求，带动国内小型核电站(SMR)的发展，重点关注国内核电产业链以及国产设备机会。

图表69：国内核电产业链和上市公司

产业链	环节	公司名称	相关业务
上游	核电燃料	中广核矿业	天然铀供应
中游	核电设备、零部件	上海电气	冷却主泵、蒸汽发生器、压力容器、控制棒驱动机构、堆内构件
中游	核电设备、零部件	东方电气	冷却主泵、蒸汽发生器、压力容器、稳压器
中游	核电设备、零部件	哈尔滨电气	冷却主泵、蒸汽发生器
中游	核电设备、零部件	江苏神通	核阀门、乏燃料处理，是“玲龙一号”阀门类主要供应商之一
中游	核电设备、零部件	纽威股份	核阀门
中游	核电设备、零部件	海陆重工	反应堆堆内构件
中游	核电设备、零部件	安泰科技	偏滤器、难熔金属材料等，其难熔钨合金材料用于“玲龙一号”
中游	核电设备、零部件	兰石重装	核电站压力容器、高温气冷堆核电站乏燃料现场贮存系统等
中游	四代核电、核聚变设备	佳电股份	主氦风机(高温气冷堆主泵)
中游	四代核电、核聚变设备	科新机电	贮存、运输压力容器
中游	四代核电、核聚变设备	景业智能	核工业专用机器人
中游	四代核电、核聚变设备	联创光电	高温超导
中游	四代核电、核聚变设备	永鼎股份	高温超导
中游	四代核电、核聚变设备	西部超导	低温超导



中游	四代核电、核聚变设备	国光电气	偏滤器、包层系统
下游	核电运营	中国核电	建设、运营及管理核电站，设计开发“玲龙一号”
下游	核电运营	中国广核	建设、运营及管理核电站
下游	核能制氢	三环集团	无机非金属复合材料研发生产
下游	核能制氢	壹石通	无机非金属复合材料研发生产

来源：Wind、国金证券研究所

五、风险提示

技术选择与示范堆建设问题风险。目前绝大多数 SMR 还处于概念设计阶段，哪些技术路线能够成功实现规模化的商业化还需时间进一步验证，优先选择哪些技术路线开展示范堆建设目前争议较大。包括 SMR 供应链相关的零件、设备制造能力，高丰度低浓铀（HALEU）燃料及其他新型燃料制造能力等，需时间建设。

审查许可框架风险。由于目前各国的法律法规、核电项目审查许可程序等主要针对大型核电站，并不适用于 SMR，这使得 SMR 项目的安全评估论证和批准面临挑战，这一现象在欧美国国家尤其明显。

核电核准持续性不及预期风险。近两年国内核电核准维持 10 台/年的高值（预期区间为 8~10 台/年）。这一核准规模建立在存量同时在建项目数较低背景下。考虑到核准到开工通常在 1 年以内，同时开工数增多以后对核电设备供应、核电施工资源、核电专业人才等各方面提出挑战。若受客观因素制约、核准规模或存在不及预期可能，对核电发展节奏带来不利影响。

新技术突破不及预期风险。当前我国具有华龙一号三代核电自主研发能力和专利技术，且在高温气冷堆、钠冷快堆等领域保持国际领先的开发进度，在核聚变研究方面拥有环流 3 号、EAST 等托克马克装置建成。但考虑到以美国为首的 COP29 联盟加大对核电新技术的投入力度和技术出口管制，新技术竞赛中若无法实现关键技术的突破，产业化进程或将不及预期。



行业投资评级的说明：

- 买入：预期未来 3—6 个月内该行业上涨幅度超过大盘在 15%以上；
- 增持：预期未来 3—6 个月内该行业上涨幅度超过大盘在 5%—15%；
- 中性：预期未来 3—6 个月内该行业变动幅度相对大盘在 -5%—5%；
- 减持：预期未来 3—6 个月内该行业下跌幅度超过大盘在 5%以上。



特别声明：

国金证券股份有限公司经中国证券监督管理委员会批准，已具备证券投资咨询业务资格。

形式的复制、转发、转载、引用、修改、仿制、刊发，或以任何侵犯本公司版权的其他方式使用。经过书面授权的引用、刊发，需注明出处为“国金证券股份有限公司”，且不得对本报告进行任何有悖原意的删节和修改。

本报告的产生基于国金证券及其研究人员认为可信的公开资料或实地调研资料，但国金证券及其研究人员对这些信息的准确性和完整性不作任何保证。本报告反映撰写研究人员的不同设想、见解及分析方法，故本报告所载观点可能与其他类似研究报告的观点及市场实际情况不一致，国金证券不对使用本报告所包含的材料产生的任何直接或间接损失或与此有关的其他任何损失承担任何责任。且本报告中的资料、意见、预测均反映报告初次公开发布时的判断，在不作事先通知的情况下，可能会随时调整，亦可因使用不同假设和标准、采用不同观点和分析方法而与国金证券其它业务部门、单位或附属机构在制作类似的其他材料时所给出的意见不同或者相反。

本报告仅为参考之用，在任何地区均不应被视为买卖任何证券、金融工具的要约或要约邀请。本报告提及的任何证券或金融工具均可能含有重大的风险，可能不易变卖以及不适合所有投资者。本报告所提及的证券或金融工具的价格、价值及收益可能会受汇率影响而波动。过往的业绩并不能代表未来的表现。

客户应当考虑到国金证券存在可能影响本报告客观性的利益冲突，而不应视本报告为作出投资决策的唯一因素。证券研究报告是用于服务具备专业知识的投资者和投资顾问的专业产品，使用时必须经专业人士进行解读。国金证券建议获取报告人员应考虑本报告的任何意见或建议是否符合其特定状况，以及（若有必要）咨询独立投资顾问。报告本身、报告中的信息或所表达意见也不构成投资、法律、会计或税务的最终操作建议，国金证券不就报告中的内容对最终操作建议做出任何担保，在任何时候均不构成对任何人的个人推荐。

在法律允许的情况下，国金证券的关联机构可能会持有报告中涉及的公司所发行的证券并进行交易，并可能为这些公司正在提供或争取提供多种金融服务。

本报告并非意图发送、发布给在当地法律或监管规则下不允许向其发送、发布该研究报告的人员。国金证券并不因收件人收到本报告而视其为国金证券的客户。本报告对于收件人而言属高度机密，只有符合条件的收件人才能使用。根据《证券期货投资者适当性管理办法》，本报告仅供国金证券股份有限公司客户中风险评级高于C3级(含C3级)的投资者使用；本报告所包含的观点及建议并未考虑个别客户的特殊状况、目标或需要，不应被视为对特定客户关于特定证券或金融工具的建议或策略。对于本报告中提及的任何证券或金融工具，本报告的收件人须保持自身的独立判断。使用国金证券研究报告进行投资，遭受任何损失，国金证券不承担相关法律责任。

若国金证券以外的任何机构或个人发送本报告，则由该机构或个人为此发送行为承担全部责任。本报告不构成国金证券向发送本报告机构或个人的收件人提供投资建议，国金证券不为此承担任何责任。

此报告仅限于中国境内使用。国金证券版权所有，保留一切权利。

上海	北京	深圳
电话：021-80234211	电话：010-85950438	电话：0755-86695353
邮箱：researchsh@gjzq.com.cn	邮箱：researchbj@gjzq.com.cn	邮箱：researchsz@gjzq.com.cn
邮编：201204	邮编：100005	邮编：518000
地址：上海浦东新区芳甸路 1088 号 紫竹国际大厦 5 楼	地址：北京市东城区建内大街 26 号 新闻大厦 8 层南侧	地址：深圳市福田区金田路 2028 号皇岗商务中心 18 楼 1806



【小程序】
国金证券研究服务



【公众号】
国金证券研究