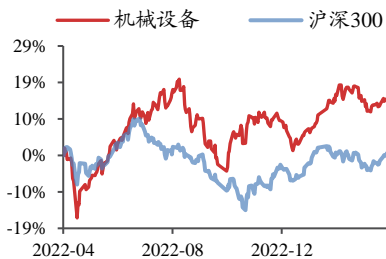


机械设备

2023年04月10日

投资评级：看好（维持）
行业走势图


数据来源：聚源

相关研究报告

《聚焦智能制造，着眼母机强国—行业周报》-2023.4.9

《氢能产业发展驶入快车道，核心设备需求高增—行业周报》-2023.4.2

《AI 赋能制造业—行业周报》-2023.3.26

核电设备迎景气周期，乏燃料后处理长坡厚雪

——行业深度报告

孟鹏飞（分析师）

mengpengfei@kysec.cn

证书编号：S0790522060001

熊亚威（分析师）

xiongyawei@kysec.cn

证书编号：S0790522080004

● 核电建设新周期，三代机组价值量提升

我国核电核准节奏加快，2022年核电核准数量达到创纪录的10台。根据中国核学会理事长王寿军的发言，预计后续每年将保持6-8台核准开工。参考台山核电站建设节奏，核岛设备、常规岛设备将分别于开工第3年、第5年进场。我们预计，2019-2022年开工的核电站，将在2023-2025年迎来设备集中进场，核电设备迎来景气周期。三代核电价值量有所提升，核电工程设备投资占比平均超50%。我国建设的二代改进型机组建成价单位投资平均12056元/千瓦，而三门一期等采用三代AP1000机组的核电项目概算建成均价为21368元/千瓦。目前我国已核准核电项目以三代机型华龙一号、CAP1000和VVER为主。

● 乏燃料后处理建设提速，后处理设备长坡厚雪

我国乏燃料后处理产能严重不足，政府基金支出快速增加，设施建设提速。乏燃料贮运容器、智能设备逐步实现国产。我国从事乏燃料运输容器生产的企业主要有大连宝原、西安核设备等，科新机电等公司亦有布局；景业智能等公司实现乏燃料后处理智能设备国产替代。我们测算，2025年我国乏燃料运输容器市场空间或达199.1亿元，乏燃料后处理智能装备探寻千亿市场规模。

● 看好新燃料及乏燃料运输容器、智能设备、冷却塔等从0到1的设备环节

新燃料运输容器国产替代伊始。核燃料组件换料周期一般为18个月，单次更换1/3的燃料。科新机电、上海阿波罗、西安核设备、南通中集能源、大连宝原、中国原子能科学研究院等公司机构已获批准。我们测算，2025年我国核燃料换料所需运输容器市场空间约为26.3亿元，2030年将达40.8亿元。

乏燃料贮运容器、智能设备前景广阔。乏燃料运输容器结构复杂，性能要求高，国内厂商主要为大连宝原、西安核设备，科新机电等厂商亦有布局。乏燃料干式贮存可环节乏燃料后处理产能压力，上海阿波罗已有乏燃料干法贮存容器成品交付。实体清单限制下核工业关键设备自主可控需求迫切，景业智能等厂商已入局，部分产品性能可全面或部分实现进口替代。我们测算，2025年我国乏燃料运输容器市场空间或达199亿元，乏燃料后处理智能设备有望探寻千亿市场规模。

冷却塔沿海核电应用趋势明朗。过去沿海核电站多用直流冷却方案，未来冷却塔沿海核电应用有望成为趋势，以2022年核电5698.6万千瓦装机容量，2030年预计达到12000万千瓦装机容量计算，预计有126台核岛用冷却塔和63台常规岛用冷却塔的市场空间。

● 受益标的

海鸥股份（冷却塔）、科新机电（核燃料运输容器）、景业智能（核工业智能设备及机器人）、华荣股份（防爆电器）、兰石重装（核级压力容器）、佳电股份（主氨风机）、江苏神通（阀门）、中核科技（阀门）、中密控股（机械密封件）。

● 风险提示：核电机组开工进度不及预期，核电设备国产化进程不及预期，乏燃料处理设备研发及国产替代进度不及预期。

目录

1、核电建设新周期，2023年迎增长元年	4
1.1、核电：广泛应用的清洁能源，前景明亮	4
1.1.1、世界核电历经四次迭代，2050年全球核装机容量或达当前3倍	4
1.1.2、我国核电进入高效发展期，2025年前装机量预计预计达70GW左右	7
1.2、核电设备景气周期到来，三代机组价值量可观	9
1.3、核电设备自主可控是主线，关注从0到1的国产化环节	11
1.3.1、上游：核燃料、特种材料、核燃料运输容器	12
1.3.2、中游：核岛设备、常规岛设备和辅助设备	12
1.3.3、下游：核电站建设、运营及乏燃料处理等	14
2、乏燃料后处理建设提速，后处理设备长坡厚雪	14
2.1、我国坚持核燃料闭式循环处理，乏燃料处理能力亟待提升	14
2.1.1、我国坚持核燃料闭式循环处理	14
2.1.2、乏燃料后处理产能亟待提升	17
3、从0到1：新燃料及乏燃料运输容器、智能设备、冷却塔	18
3.1、新燃料运输容器国产化伊始，资质壁垒高企	19
3.1.1、新燃料运输容器国产化伊始	19
3.1.2、2030年我国核燃料（新燃料）运输容器市场空间将达40.8亿元	20
3.2、乏燃料贮运容器、智能设备前景广阔	21
3.2.1、乏燃料运输容器国产替代空间大	21
3.2.2、乏燃料干式离堆贮存迎来机遇	22
3.2.3、乏燃料后处理智能设备自主可控需求迫切	24
3.2.4、2025年我国乏燃料运输容器市场空间或达199.1亿元	25
3.2.5、乏燃料后处理智能装备探寻千亿市场规模	25
3.3、冷却塔沿海核电应用趋势明朗	26
4、行至中途：核岛设备、核电阀门、辅助设备	27
4.1、核岛设备国产替代程度不一	27
4.2、核电阀门自主可控力强	29
4.3、辅助设备HVAC系统已实现国产化	29
5、受益标的	30
6、风险提示	30

图表目录

图1：世界核电技术已历经四次迭代	4
图2：压水堆具有二回路系统和蒸汽蒸发器	6
图3：沸水堆没有二回路系统和蒸汽蒸发器	6
图4：高温气冷堆有望实现大规模绿色制氢	6
图5：热气导管连接堆芯和蒸汽发生器	6
图6：世界核电发展的四个阶段	7
图7：2022年国内核电核准数量创纪录	7
图8：我国核电站以压水堆技术为主	8
图9：美国的标准压水堆（PWR）建设成本中，结构及设备占比约达33%	11
图10：核电产业链分为上游-中游-下游三个部分	11
图11：核电产业链中设备投资占比达50%	11
图12：核电细分设备中核岛设备市场规模较大	11
图13：铀矿资源转化工艺链较长	12
图14：我国铀资源贫乏	12
图15：核电机组由核岛设备、常规岛设备和辅助设备构成	13
图16：核岛设备成本占比最高	13
图17：核岛设备、常规岛设备和辅助设备竞争格局差异较大	13
图18：中广核、中核核电站装机量占比较高	14
图19：核燃料是发电成本的主要构成之一	14
图20：乏燃料具有较高的循环利用价值	15

图 21: 我国铀资源对外依存度常年维持在 70%以上	15
图 22: 乏燃料后处理可分为开式循环和闭式循环两种	15
图 23: 快堆闭式核燃料循环	16
图 24: 乏燃料后处理提高铀资源利用率	16
图 25: 我国坚持核燃料闭式循环路线	16
图 26: 乏燃料后处理设备种类较多	17
图 27: 预计 2030 年中国核电机装机容量将实现翻倍	17
图 28: 预计 2030 年我国在运核电机组将达 90-96 台	17
图 29: 预计 2025 年将有 5591 吨乏燃料离堆储存	18
图 30: 政府性乏燃料后处理基金支出快速增加	18
图 31: 反应堆堆芯位于压水堆核电站内部	19
图 32: 核燃料组件安装在反应堆堆芯中	19
图 33: 华龙一号“177 堆芯”含有 177 根燃料组件	19
图 34: 科新机电获准生产 ANT-12A 新燃料运输容器	20
图 35: 我们预计, 2030 年我国核燃料运输容器市场空间将达 40.8 亿元	21
图 36: NAC-STC 型乏燃料运输容器结构复杂	22
图 37: 乏燃料湿式贮存依靠池水	23
图 38: 乏燃料干式贮存依靠容器外壳屏蔽辐射	23
图 39: 上海阿波罗具有乏燃料干法贮存容器生产能力	23
图 40: 我们预计, 2025 年我国乏燃料运输容器市场空间为 199.1 亿元	25
图 41: 预计 2021-2035 年乏燃料后处理智能装备年均投资额约 28 亿元-79 亿元	26
图 42: 沿海核电应用或为冷却塔新增量	26
图 43: 压力容器在核岛设备投资中的占比最高	27
图 44: 主管道连接一次冷却剂系统的压力容器、蒸汽发生器、主泵等关键部件	28
图 45: 主泵是核电运转控制水循环的关键	28
图 46: 蒸汽发生器 U 型传热管完整性对核电站安全运行十分重要	29
图 47: 核电站通风与空气处理 (HVAC) 系统及设备	30
表 1: 目前世界主流核电站采用第二代或第三代核电技术	4
表 2: 2021 年国内核电发电量占比较国际核电发电量水平存在较大差距	7
表 3: 我国核电将进入高效发展期	8
表 4: 十四五期间各省积极规划核电发展	8
表 5: 台山核电站核岛设备、常规岛设备分别于开工第 3 年、开工第 5 年进场	9
表 6: 2019 年以来核电审批加速	9
表 7: 核电设备将在 2022-2023 年集中进场	10
表 8: 法国乏燃料处理技术世界领先	16
表 9: 相较英法俄日等国, 我国乏燃料处理能力较小	18
表 10: 新燃料运输容器国产替代开启	19
表 11: 我们预计, 2030 年我国新燃料运输容器市场空间将达 40.8 亿元	21
表 12: 乏燃料运输容器国产替代伊始	22
表 13: 国内核废料处置主体均为大型核电央企	23
表 14: 景业智能第二代电随动机械手部分性能已超越国际一线厂商	24
表 15: 景业智能分析用取样机器人可显著提升放射性料液取样流程的工作效率, 价格较国外有明显优势	24
表 16: 我们预计, 2025 年我国乏燃料运输容器市场空间为 199.1 亿元	25
表 17: 预计 2021-2035 年乏燃料后处理智能装备市场规模可达千亿	26
表 18: 核电各细分领域有望受益	30

1、核电建设新周期，2023 年迎增长元年

1.1、核电：广泛应用的清洁能源，前景明亮

核电是一种清洁能源，是利用核裂变或核聚变反应所释放的能量发电的技术，其利用核反应堆产生热能，进而产生蒸汽驱动涡轮发电机产生电力。相较于传统化石燃料发电站，核电站排放量低，不会产生温室气体和大气污染物，在世界范围内被广泛应用。

1.1.1、世界核电历经四次迭代，2050 年全球核装机容量或达当前 3 倍

自 1951 年 12 月美国实验增殖堆 1 号（EBR-1）首次利用核能发电以来，世界核电技术已历经四次迭代。

第一代：20 世纪五六十年代开发的原型堆和动力堆，由于核电直接从军用到商用，核电机组附加安全设计少，存在安全隐患；

第二代：20 世纪 60 年代后期，在试验性和原型核电机组基础上陆续建成发电功率在 300MW 以上的压水堆、沸水堆、重水堆和石墨水冷堆等核电机组，二代机组专门设计了能动安全装置，而且仅供民用，提高了核电的经济性；

第三代：总结了核电发展的经验和教训，结合新的安全理念、安全方法和安全要求进一步提升了安全性能、运行性能以及经济性能；

第四代：2000 年美国联合其他九个有意发展核能的国家堆出第四代核能系统计划，目前仍在发展阶段，预计在 2030 年左右推向市场；

图1：世界核电技术已历经四次迭代



资料来源：Nuclear Innovation Consultancy、开源证券研究所

目前世界主流核电站皆采用第二代或第三代核电技术。其中，第二代和第三代的主要核电堆型包括压力堆和沸水堆等，在安全性和经济性上较前一代都有提升。第四代核电技术以在安全性、经济性、核废物处理、防止核扩散上更为出色，代表堆型包括钠冷快堆、铅冷快堆、气冷快堆、超高温气冷堆等，目前主要研发试验阶段，商业化预计在 2030 年左右实现。

表1：目前世界主流核电站采用第二代或第三代核电技术

核电系统	侧重点	技术特点	核电堆型	代表核电站/核电堆型
第一代	试验验证	基于军用核反应堆技术建	原型堆和试验堆	美国希平港核电站 美国

		造的首批原型堆，证明了核能系统发电的可行性。设计中没有系统、规范、科学的安全标准，存在许多安全隐患，发电成本较高且目前已全部退役。		印第安角核电站 法国舒兹核电站 德国奥利海母核电站
第二代	推动核电民用化进程，提高经济性	按照较完备的核安全法规和标准来设计，实现核电民用化。目前世界上商业运行的大多数核电站均为第二代技术	压水堆、沸水堆、重水堆、石墨水冷堆和改进型气冷堆等	切尔诺贝力核电站 浙江泰山核电站
第三代	较第二代，提高了安全性及经济性	第三代核电站包括革新型核电站和改革型核电站，第三代核电技术堆型在安全、设计上已趋成熟。革新型核电站：采用非能动安全系统，简化系统，减少设备，进而提高安全性、改善经济性；改革型核电站：在原有设计基础上，增加安全裕量来提高安全性，增加单机容量来改善经济性。	先进非能动压水堆 (AP1000)、欧洲压水堆 (EPR)、先进沸水堆 (ABWR)、经济简化型沸水堆 (ESBWR)、先进压水堆 (APWR、APR1400)、国和一号 CAP1400、华龙一号 HPR1000	“华龙一号”福建福清核电站
第四代	较第三代，安全性和经济性都更优，解决核废物处理、防止核扩散等问题	四代技术有六种反应堆型的概念设计，它在安全性和经济性都更加优越，废物量极少，无需厂外应急，并具有防核扩散能力的核能利用系统，商用化预计在 2030 年左右实现。	钠冷快堆、铅冷快堆、气冷快堆、超高温气冷堆、快中子堆、超临界水冷堆和熔盐堆等	石岛湾高温气冷堆核电站

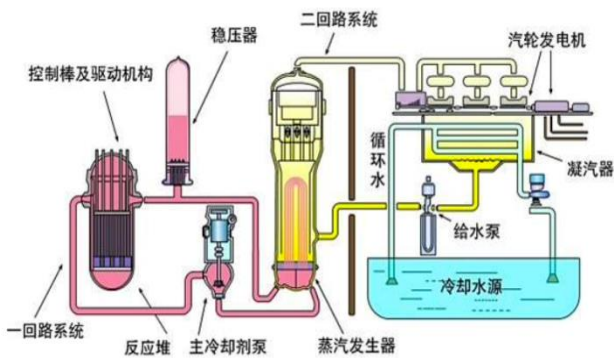
资料来源：中国核电招股说明书，国家能源局、开源证券研究所

其中，轻水堆广泛应用于第二、三代核电站。轻水堆可分为压水堆和沸水堆，为世界上最普遍的商用堆型。

压水堆方面，其以加压清水为冷却剂和慢化剂，其结构和运行较为简单、尺寸较小、经济性好、且安全性高。压水堆核电站主要包括核反应堆、一回路系统、二回路系统及其他辅助系统。一回路系统主要负责把核裂变产生的热能传递到二回路的水，使给水变为水蒸汽，而二回路系统则负责把水蒸汽传入汽轮机，带动电机发电。**沸水堆方面**，其以沸腾轻水为冷却剂和慢化剂，没有压水堆的二回路系统和蒸汽蒸发器，在事故时有泄漏放射性物质的危险。

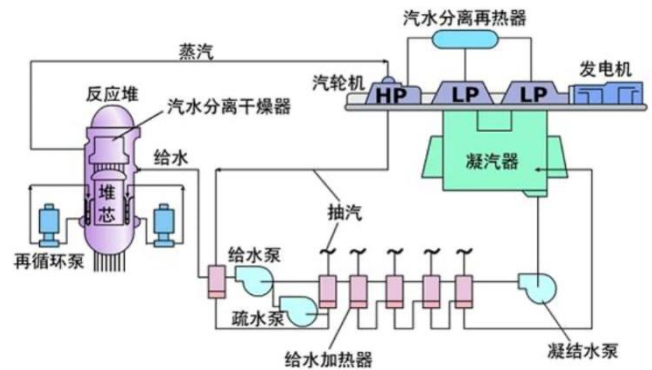
目前全球在运核电站以压水堆为主。根据世界核能协会数据，截至 2020 年末，全球在运核电反应堆共 441 座，其中压水堆 302 座，占比 68%；沸水堆占比 14%。

图2: 压水堆具有二回路系统和蒸汽蒸发器



资料来源: 电力界

图3: 沸水堆没有二回路系统和蒸汽蒸发器

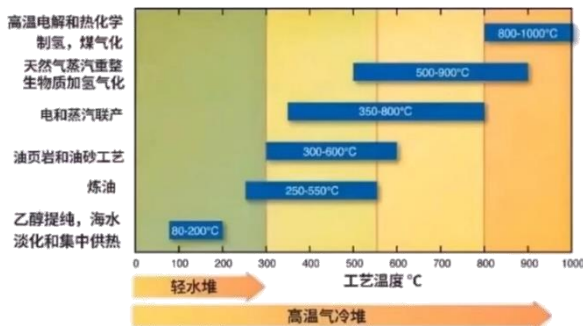


资料来源: 烟台核电研发中心

高温气冷堆为我国第四代核电站重要方向，以气冷代替轻水堆水冷，主要分为棱柱式和球床式两种。燃料球靠重力自然落入堆芯，能够不停堆在线换料；可实现小型模块设计，灵活性更高；且每一个模块功率密度约为大型压水堆核电站的 1/20，停堆后余热水平较低，更加安全。

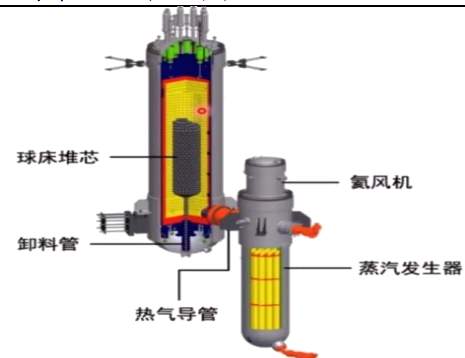
2021 年 12 月，我国石岛湾高温气冷堆核电站投入运行，设备国产化率达 93.4%，采用双模块设计，是全球首座球床模块式高温气冷堆核电站。该核电站的氦气出口温度能达到 750℃，产生 566℃的过热蒸汽，在高效发电之外，高温蒸汽还能用于热电联产、稠油热采、化工、冶金等。高温气冷堆有望实现大规模绿色制氢。

图4: 高温气冷堆有望实现大规模绿色制氢



资料来源: 清华大学核能与新能源技术研究院

图5: 热气导管连接堆芯和蒸汽发生器



资料来源: 清华大学核能与新能源技术研究院

世界目光重聚核能，2050 年全球核装机容量或达当前 3 倍。从上世纪 50 年代至今，全球核电共经历了 4 个发展阶段。2011 年日本福岛核电站事故对世界核电建设造成了一定负面影响。

但近年来在低碳趋势及全球能源危机下，德国政府计划推迟关闭最后 3 座核电站；2022 年 2 月，法国宣布将建造六座新反应堆，并考虑再建造 8 座；日本在 2022 年 8 月表示，将探索建设下一代反应堆，并推动闲置核反应堆重启。国际能源署 (IEA) 评估认为，到 2050 年全球核装机容量要达到现在的 3 倍。

图6: 世界核电发展的四个阶段



资料来源：上海市核电办公室、开源证券研究所

1.1.2、我国核电进入高效发展期，2025年前装机量预计预计达 70GW 左右

我国核电发电量占比较发达国家存在较大差距。2021 年我国核电发电量约 383TWh，核电发电占比约为 5%。虽然我国核电发电量位居世界前列，但发电占比低于 10%的全球平均水平，较美国、俄罗斯等国家存在较大赶超空间。

表2: 2021 年国内核电发电量占比较国际核电发电量水平存在较大差距

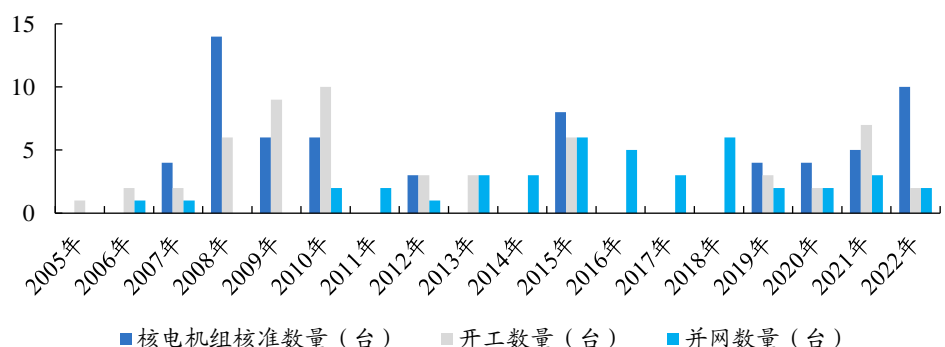
国家	核电发电量 (TWh)	核电发电量占比
美国	771.64	19.6%
法国	363.39	69%
日本	61.3	7.2%
俄罗斯	208.44	20%
中国	383.21	5%
全球	265.33	10%

数据来源：IAEA、Our World in Data、开源证券研究所

我国核电进入安全高效发展期，核电核准加速。我国核电自上世纪 70 年代开始发展，过去 10 年核电核准分别与 2011 年后和 2016 年后出现了 2 次断档。2011 年因日本福岛事件，国内处于安全考虑在 2012-2014 年暂缓核电建设核准。2016 年以来国内用电增长放缓，装机容量快速增长，出现多台核电机组陆续投产，导致部分核电机组降负荷运行甚至停机备用的情况；此外，当时全球首个 AP1000 核电项目——浙江三门核电站尚未投产，导致 2016-2018 年核电项目核准暂停。

2019 年以来三代机组陆续投产，我国核电核准节奏加快。2022 年，国内核电核准数量达到创纪录的 10 台，预计后续每年将保持 6-8 台开工核准。

图7: 2022 年国内核电核准数量创纪录



数据来源：电力科技、核能号等、开源证券研究所

图8: 我国核电站以压水堆技术为主



资料来源: 中国核能行业协会

2025 年我国核电装机量有望达 70GW, 较“十三五”期间增长 40%。根据《“十四五”现代能源体系规划》, 在 2025 年前, 我国核电装机量达到 70GW 左右, 较“十三五”期间增长 40%。根据《中国核能发展报告(2021)》数据, 到 2030 年, 我国核电在运装机量有望达到 120GW, 核电发电量占全国发电量的 8%。根据《核电站的发展历程及应用前景》数据, 到 2050 年我国核电装机总容量将达到 400GW, 核电发电量份额将增加到 14.5%。

表3: 我国核电将进入高效发展期

时期	文件名称	对核电的看法
十五期间 (2001-2005)	《电力工业“十五”规划》	“适度发展核电”
十一五期间 (2006-2010)	《核电中长期发展规划 (2005-2020 年)》	“积极推进核电建设”
十二五期间 (2011-2015)	《核电安全规划 (2011-2020 年)》	“提高准入门槛, 暂时不安排内陆核电”
十三五期间 (2016-2020)	《电力发展“十三五”规划》	“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, 加快推进沿海核电项目建设。”
	《政府工作报告》	“在确保安全的前提下积极有序发展核电”
十四五期间 (2021-2025)	《“十四五”现代能源体系规划》	“规划到 2025 年, 核电运行装机容量达到 7000 万千瓦左右, 较‘十三五’同比增长 40%, 复合增速 7%”

资料来源: 中国政府网、国家能源局、开源证券研究所

表4: 十四五期间各省积极规划核电发展

省份	核电发展规划
辽宁	开工建设徐大堡核电二期。
山东	高效开发核能, 稳步有序推进海阳、荣成、招远等沿海核电基地建设。适时启动第四核电厂址开发, 探索核能小堆供热技术研究和示范, 打造核能强省。到 2025 年, 在运在建核电装机规模达到 1300 万千瓦左右
江苏	安全利用核能, 加快田湾核电 7、8 号机组项目建设; 支持田湾核电应急救援基地建设
浙江	安全高效发展核电, 围绕核电基地探索建设零碳未来城 (图), 建成三澳核电一期, 推进三门核电二三期、三澳核电二期, 形成浙北、浙东、浙南三大沿海核电基地, 到 2025 年核电装机达 1100 万千瓦以上。
广东	大力发展核能等清洁能源, 支持沿海经济带发展核电, 抓好惠州太平岭核电站建设, 开工建设陆丰、廉江核电。
福建	重点推进漳州核电、霞浦核电、神华罗源湾电厂等大型电源项目建设, 建成华电可门电厂三期、漳州核电 1、2 号机组、霞浦核电示范快堆 1 号机组, 到 2025 年, 力争全省电力总装机达 8000 万千瓦以上,
广西	积极稳步发展核电
海南	加快发展核电配套产业, 引进核电建设期和运行期所需的机械、电器、仪表、控制系统及材料生产企业。推动建设核

请务必参阅正文后面的信息披露和法律声明

省份

核电发展规划

电运维服务中心，加快发展核电运行所需的技术支持和检修运维服务、支持核技术在环保、放射医学等领域的非动力应用。

资料来源：深圳核博会官网、国家能源局、开源证券研究所

1.2、核电设备景气周期到来，三代机组价值量可观

核电机组建设周期约为 6-7 年。我国 2008 年-2015 年开工的核电机组已陆续完成并网。2016 年-2018 年核电核准中止，意味着 2023-2025 年期间新并网机组数量将会减少，2025 年之后将再次增长。

核电设备景气周期到来。台山核电站建设过程中，核岛设备、常规岛设备分别于开工第 3 年、开工第 5 年进场。参考台山核电站的建设节奏，我们预计，2019-2022 年开工的核电站，将在 2023-2025 年迎来设备集中进场，我国即将迎来核电设备景气周期。

表5：台山核电站核岛设备、常规岛设备分别于开工第 3 年、开工第 5 年进场

开工年份	时间	事件	进场进度
T+1	2009.10.26	核岛浇筑第一罐混凝土	
T+3	2011.10.23	核岛穹顶吊装就位	
T+4	2012.6.3	反应堆压力容器吊装就位	核岛设备进场
T+4	2012.9.29	首台蒸汽发生器吊装就位	
T+4	2012.12.26	核岛主回路焊接完成	
T+5	2013.8.26	发电机定子于东方电气制造完成	
T+5	2013.12.4	堆芯捕集器安装完成	常规岛设备进场
T+5	2013.12.20	核回路中压注管线冲洗完成	
T+6	2014.3.29	汽轮机四缸扣盖完成	
T+6	2014.7.31	海底隧道开工	
T+6	2014.8.14	发电机完成转子穿装	
T+6	2014.10.30	机组泵站进水	
T+6	2014.12.26	机组重要厂用水系统首次起泵	
T+7	2015.6.8	机组主盘车可用	
T+8	2016.1.27	冷试完成	
T+8	2016.3.15	机组循环水泵首次启动	
T+9	2017.4.13	核燃料到场	新燃料进场
T+9	2017.8.4	热试完成	
T+9	2017.11.15	核燃料接受	
T+9	2017.12.18	首次装料前的安全检查	
T+10	2018.4.10	机组批准书颁布并装料	
T+10	2018.6.6	首次临界	
T+10	2018.6.29	并网发电	
T+10	2018.10.30	100%功率发电	

资料来源：ChemWhat、开源证券研究所

表6：2019 年以来核电审批加速

机组名称	投资方	机组型号	装机单体容量	核准时间	装机容量
漳州 1&2 号	中国核电	华龙一号	2*115	2019 年	225
太平岭 1&2 号	中广核集团	华龙一号	2*115	2019 年	225
三澳 1&2 号	中广核集团	华龙一号	2*115	2020 年	225
昌江 3&4 号	华能集团	华龙一号	2*115	2020 年	225
徐大堡 3&4 号	中国核电	VVER-1200	127*2	2021 年	254
田湾 7&8 号	中国核电	VVER-1200	127*2	2021 年	254
海南昌江“玲珑一号”	中国核电	ACP100	12.5	2021 年	12.5

请务必参阅正文后面的信息披露和法律声明

机组名称	投资方	机组型号	装机单体容量	核准时间	装机容量
浙江三门核二期	中国核电	CAP1000	125.1*2	2022年	250.2
山东海阳二期	国家电投	CAP1000	125*2	2022年	250
广东陆丰5、6号机组	中国广核	华龙一号	120*2	2022年	240
福建漳州二期	中国核电	华龙一号	121.2*2	2022年	242.4
广东廉江一期核电项目	国家电投	CAP1000	125*2	2022年	250
合计					2653.1

资料来源：北极星电力网、核能号、中核集团、开源证券研究所

表7: 核电设备将在 2022-2023 年集中进场

开发商	项目	容量 (GW)	进度	时间点
中核	中核玲珑一号	0.125	核岛安装工程开始	2022.11
中核	徐大堡4号	1.27	堆芯捕集器CC容器吊装	2022.1
中核	田家湾8号	1.27	核岛地基浇筑	2022.02
中核	田家湾7号	1.27	芯堆捕集器进场	2022.01
中核	徐大堡3号	1.27	芯堆捕集器进场	2022.01
中核	漳州2号	1.12	核岛钢衬吊装	2022.01
中核	漳州1号	1.12	核岛穹顶吊装完成	2021.10
中核	霞浦1-2号示范	1.2	招标	2022.01
中广核	红沿河6号机组	1.11	调试	2021.10
中广核	防城港3号	1.18	调试	2022.01
中广核	防城港4号	1.18	调试	2022.01
中广核	惠州1号	1.12	核岛穹顶吊装完成	2021.12.24
中广核	惠州2号	1.12	FCD混凝土浇筑	预计 2021.10
中广核	三澳1号	1.12	FCD混凝土浇筑	2020.12.31
中广核	三澳2号	1.12	FCD混凝土浇筑	2021.12.31
华能	海南昌江3号	1.2	置换水箱3个模块 顺利吊装	2021.12.03
华能	海南昌江4号	1.2	FCD混凝土浇筑	2021.12.29

资料来源：北极星电力网、海南政府网等、开源证券研究所

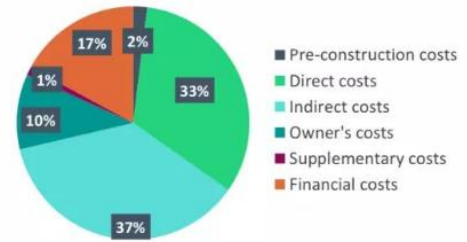
三代核电价值量有所提升。目前我国核电设备以第三代核电设备为主。三代核电每台机组的 EPC (Engineering Procurement Construction, 工程总承包) 投资约为 200 亿。我国建设的二代改进型机组建成价单位投资平均 12056 元/千瓦, 最高 12983 元/千瓦, 最低 10468 元/千瓦; 而三门一期、海阳一期、台山一期等采用三代 AP1000 机组的核电项目概算建成均价为 21368 元/千瓦。相较二代机组, 三代核电价值量有所提升。目前我国已核准核电项目以三代机型华龙一号、CAP1000 和 VVER 为主。

核电工程设备投资占比平均超 50%。根据英国能源技术研究所 (Energy Technologies Institute) 数据, 美国的标准压水堆 (PWR) 建设成本中, 直接成本占比约达 33%, 包括结构和改进; 反应堆设备; 涡轮发电机设备; 电气设备; 散热系统; 杂项设备; 特殊材料; 模拟器; 直接成本的不可预见费等。我国核电工程中设备投资占比平均超 50%。

图9: 美国的标准压水堆 (PWR) 建设成本中, 结构及设备占比约达 33%

Table 1. Cost Breakdown of PWR Benchmark

Capitalised Costs	Gen IV Acct Codes	Cost
Pre-construction costs	10s	\$133 /kW
Direct costs	20s	\$2,255 /kW
Indirect costs	30s	\$2,512 /kW
Owner's costs	40s	\$715 /kW
Supplementary costs	50s	\$79 /kW
Financial costs	60s	\$1,175 /kW
Capitalised Costs Total		\$6,780 /kW

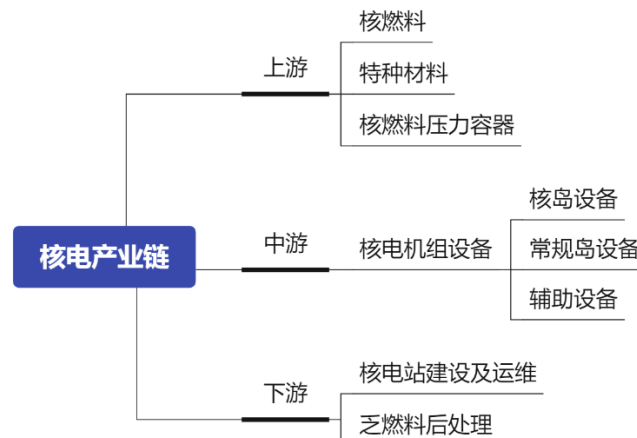


资料来源: Energy Technologies Institute

1.3、核电设备自主可控是主线, 关注从 0 到 1 的国产化环节

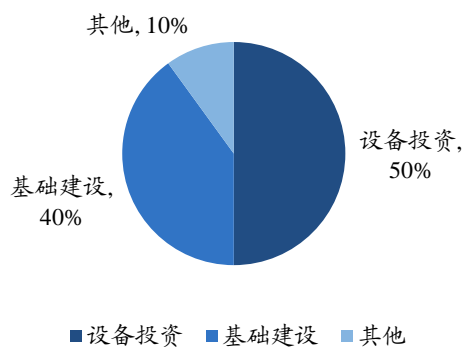
核电产业链上游为核燃料、特种材料及压力容器, 中游为核电机组设备, 包括核岛设备、常规岛设备和辅助设备, 下游为核电站建设运维及、乏燃料后处理等。核电产业链环节中, 基础设施占比达 40%, 设备投资占比达 50%。我们看好新燃料及乏燃料运输容器、智能设备、冷却塔等从 0 到 1 的设备环节。

图10: 核电产业链分为上游-中游-下游三个部分



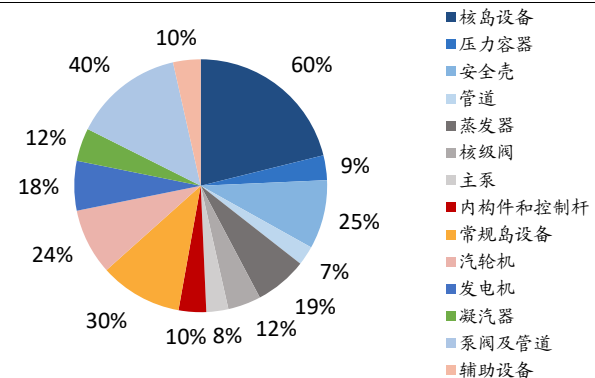
资料来源: 我国核电站项目设备供应商管理研究 (曲野萌 2018 年)、开源证券研究所

图11: 核电产业链中设备投资占比达 50%。



数据来源: 我国核电站项目设备供应商管理研究 (曲野萌, 2018 年)、开源证券研究所

图12: 核电细分设备中核岛设备市场规模较大



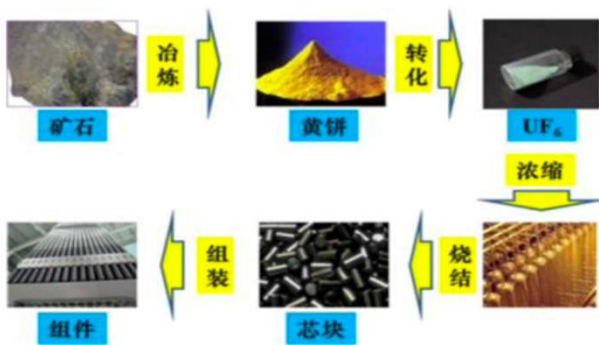
数据来源: 我国核电站项目设备供应商管理研究 (曲野萌 2018 年)、开源证券研究所

1.3.1、上游：核燃料、特种材料、核燃料运输容器

铀矿资源转化工艺链较长。铀矿石开采出来后，经过破碎、研磨、浸出、固液分离、萃取等过程，得到浓缩铀，再经过提纯、化学转化制成二氧化铀或金属铀。但这时铀产品中铀 235 仅占 0.71%，若要用于核电厂轻水堆的燃料，需要把铀 235 的浓度提 2-5pct 后，才能制成芯块并组装成核燃料组件。

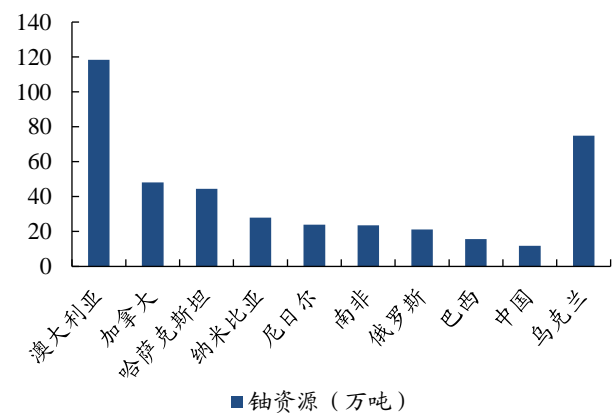
我国核燃料进口依赖度高，中核集团核燃料独家供应。我国大部分铀资源品味低且埋藏深，开采成本较高，铀矿资源 70% 以上都来源于进口，主要供应国家包括哈萨克斯坦、乌兹别克斯坦、加拿大、纳米比亚、尼日尔和澳大利亚等。核燃料物资在各国都受到严格管制，只有获得许可的企业才能采购。中核集团目前是中国唯一拥有完整核燃料循环产业的企业，国家授权中核集团对核燃料、铀产品的生产经营和进出口实行专营，具有核燃料供应资质。

图13：铀矿资源转化工艺链较长



资料来源：国家核安全局

图14：我国铀资源贫乏



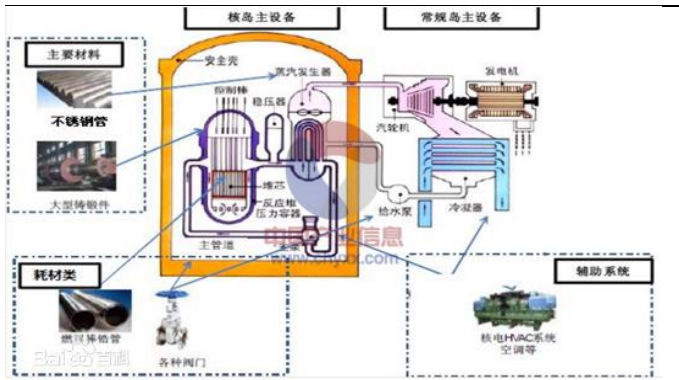
数据来源：World Information Service on Energy、开源证券研究所

1.3.2、中游：核岛设备、常规岛设备和辅助设备

中游核电机组设备主要包括核岛设备、常规岛设备和辅助设备。根据《中国核能发展报告 2025》，十四五期间我国核电设备年均投资额约为 540-720 亿元。随着 2022 年核电项目审批加速，设备有望迎来放量；叠加核电进入三代装机时代，设备价值量有望增大。

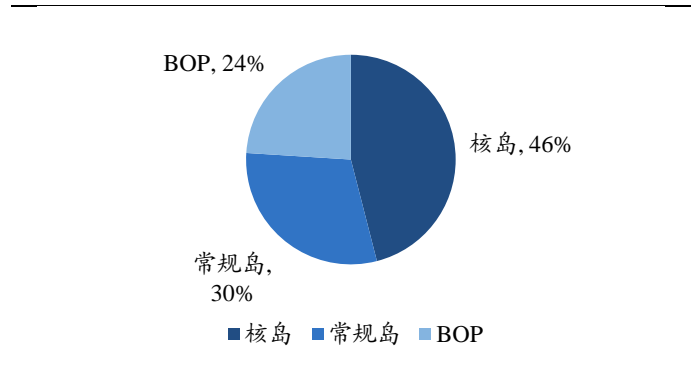
核电机组中核岛设备成本占比最高，但核岛设备、常规岛设备和辅助设备竞争格局差异较大。

图15: 核电机组由核岛设备、常规岛设备和辅助设备构成



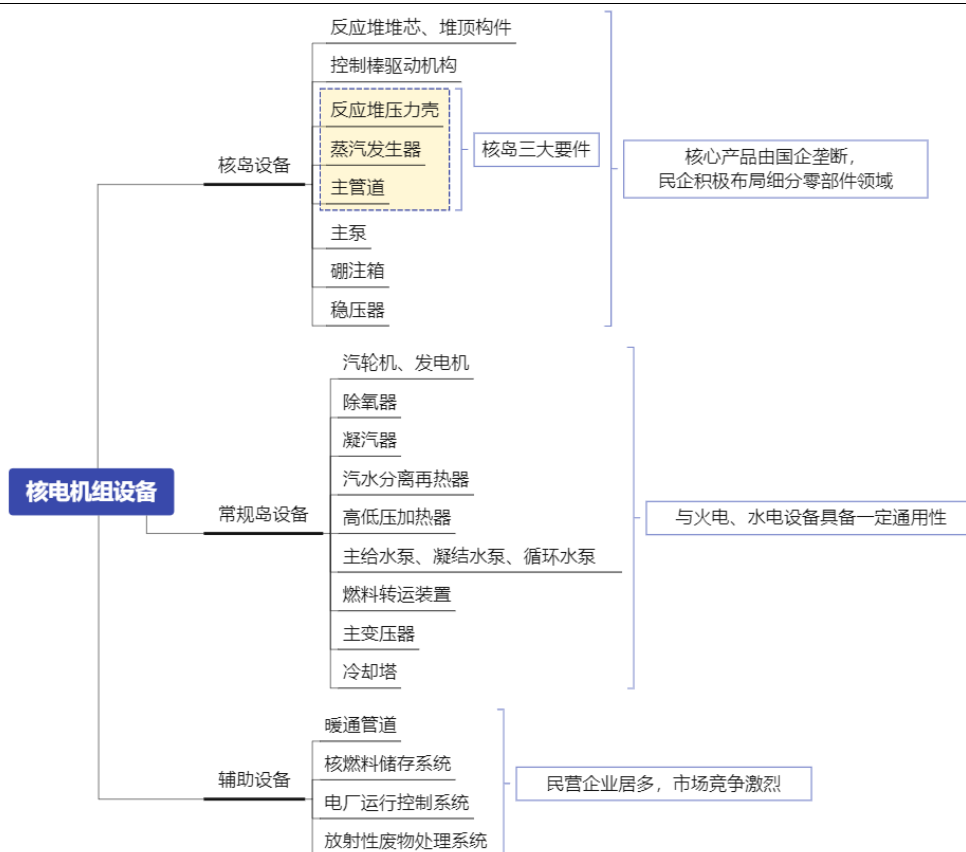
资料来源: 中国产业信息网

图16: 核岛设备成本占比最高



数据来源: 前瞻产业研究院、开源证券研究所

图17: 核岛设备、常规岛设备和辅助设备竞争格局差异较大



资料来源: 我国核电站项目设备供应商管理研究 (曲野萌 2018 年)、开源证券研究所

核岛设备成本占比最高，约为 46%，包括反应堆压力容器、主管道及热交换器和蒸汽发生器为核岛三大主要部件。这些是我国核电国产化的核心，垄断程度高、技术壁垒高，且毛利率也较高，属于行业内的高端产品。目前市场参与者较少，主要以国企为主导，民企更多是参与部分部件的制造。核岛设备的供应以上海电气、东方电气、哈电集团、中国一重四大国企为主，主要承担三代核电主设备，如反应堆压力容器、稳压器、蒸汽发生器、汽轮发电机、主冷却剂泵的供应。民营企业在细分产品如阀、泵管道、风机制冷设备等方面占据了主要供应地位。

核岛设备: 核心产品由国企垄断，民企积极布局细分零部件领域。技术难度大、

质量要求高、资金投入多等原因导致核岛设备的进入壁垒极高，核心设备包括压力容器、蒸汽发生器、主泵及主管道等均由国企垄断，兼具投资占比较高与毛利率较高两大特点，主要参与者为东方电气、上海电气、哈动力集团和一重集团四家企业。

常规岛设备占比约 30%，壁垒及毛利率较低。主要包括汽轮机组和二回路等辅助系统。由于常规岛的发电原理与火电、水电等其他发电站相似，设备具备一定的通用性，因此常规岛设备的市场竞争程度较高，毛利率较低。

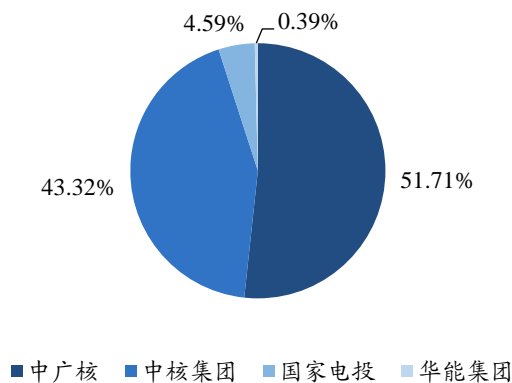
辅助设备占比约 20%，民营企业居多，市场竞争激烈。包括核燃料储存系统、电厂运行控制系统、专设的安全设施和系统、放射性废物处理系统等。2015 年，国内开启核三级设备市场化，辅助系统设备市场中民营企业较多，由于无特殊的技术要求，技术壁垒低，市场参与者较多且竞争激烈，毛利率水平偏低。

1.3.3、下游：核电站建设、运营及乏燃料处理等

下游为核电站建设、运营及乏燃料处理等。核电建设周期长、投资规模大，前期工作一般需要 5-10 年。由于核电行业的特殊性 & 核电技术的复杂性，不管是在运装机容量还是发电量行业集中度都很高，2020 年核电运营市场 CR2 高达 90% 以上。我国的核电项目大都由中国核电和中国广核两家分别或合作建设运营。

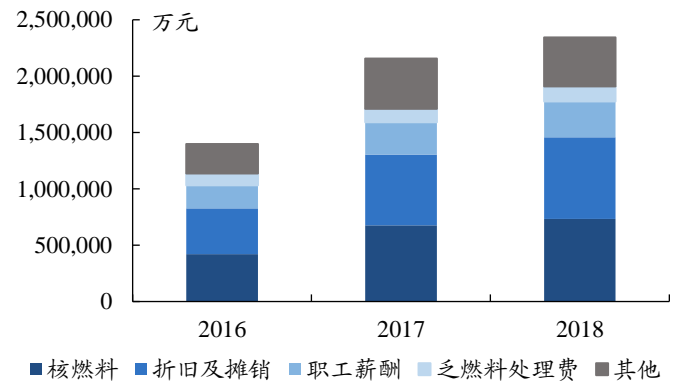
核电运营商的发电成本主要由核燃料、折旧及摊销、职工薪酬和乏燃料处理费用构成。根据中广核招股说明书数据，四大成本构成在 2016-2018 年度合计占比分别为 81.25%、79.28% 及 81.43%。核燃料是发电成本的主要构成之一，2018 年度占总发电成本的 31.33%。

图18：中广核、中核核电站装机容量占比较高



数据来源：中国核电、中广核、开源证券研究所

图19：核燃料是发电成本的主要构成之一



数据来源：中广核招股说明书、开源证券研究所

2、乏燃料后处理建设提速，后处理设备长坡厚雪

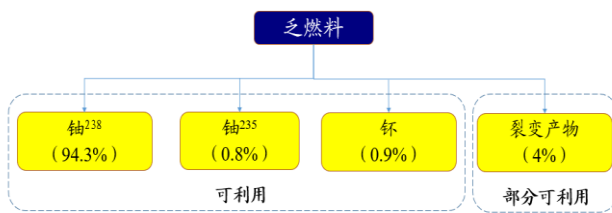
2.1、我国坚持核燃料闭式循环处理，乏燃料处理能力亟待提升

2.1.1、我国坚持核燃料闭式循环处理

乏燃料是指受过辐射照射、被使用过的核燃料，通常由核电站的核反应堆中卸出。这种燃料无法继续维持核反应，且具有放射性，但其中含有的铀 235、钚 239 等可裂变材料和铀 238 等可转换材料仍然具有二次利用价值。将乏燃料中的铀、钚与裂变产物相互分离，将回收的铀和钚作为核燃料再利用的过程叫做乏燃料后处理，

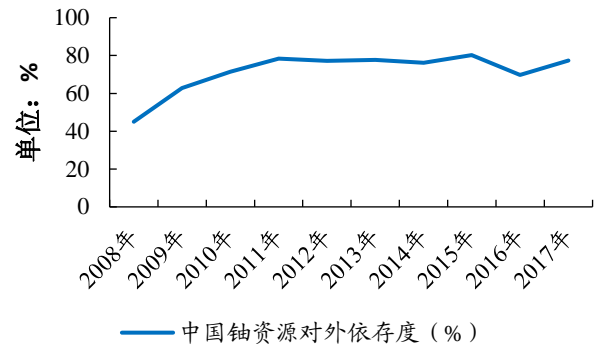
是核燃料循环后段中的关键环节之一。

图20: 乏燃料具有较高的循环利用价值



资料来源: 国家能源局、开源证券研究所

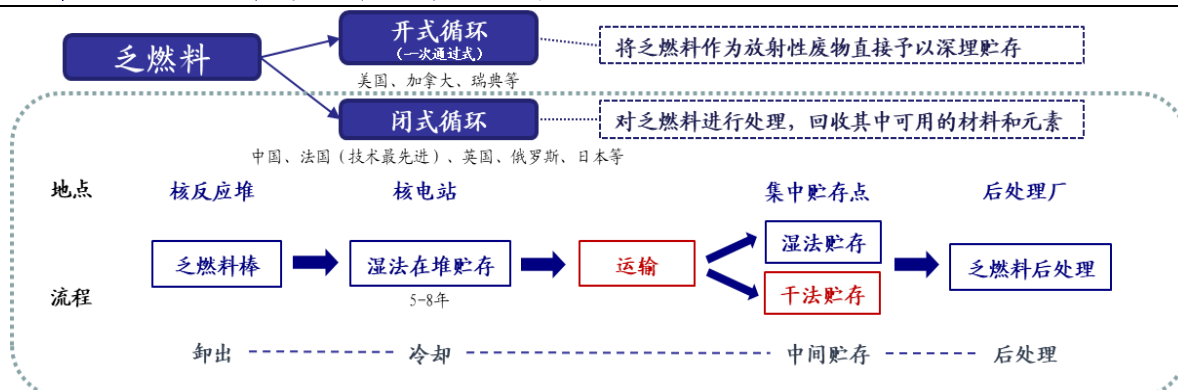
图21: 我国铀资源对外依存度常年维持在 70%以上



数据来源: 国家能源局、开源证券研究所

辐照之后的燃料组件依然保留着 475-480KG 的 U，占了新燃料 U 装料的 95-96%，燃料组件收到辐照后会产生 5KG 的 PU 元素，占了整个燃料组件的 1%，这些 U 和 Pu 元素都可以循环再利用，不可利用的裂变产物只占到组件重量的 3%-4%。

图22: 乏燃料后处理可分为开式循环和闭式循环两种

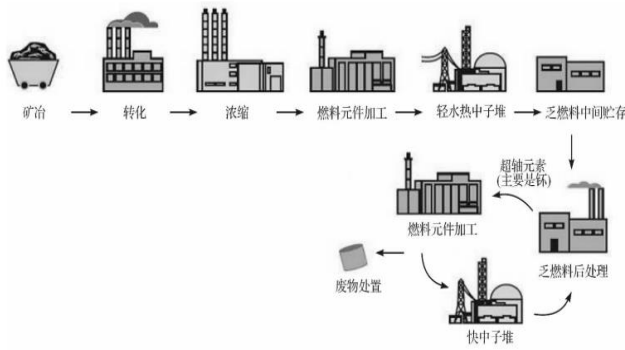


资料来源: 全球乏燃料与高放废物管理现状 (陆燕, 2022 年)、国外核电站乏燃料贮存方式对比研究 (徐健等, 2021 年)、开源证券研究所

乏燃料后处理的意义首先在于资源的充分利用。通常压水堆核电站铀资源的利用率仅为 0.37%，如果对乏燃料进行后处理，用“榨”出来的铀在压水中在循环一次，可节省天然铀 25%；若如此多次循环，则铀资源的利用率可以达到 1%；若将后处理得到的钚与铀富集后剩下的贫铀制成快堆燃料，则铀资源的利用率可以提高 60 倍左右，达到 60%到 70%，这意味着原本仅能使用 50~60 年的天然铀可利用长达 3000 余年。此外，乏燃料后处理可以显著减少需长期深地质层处置的核废物体积，并且大幅降低核废料的放射性。

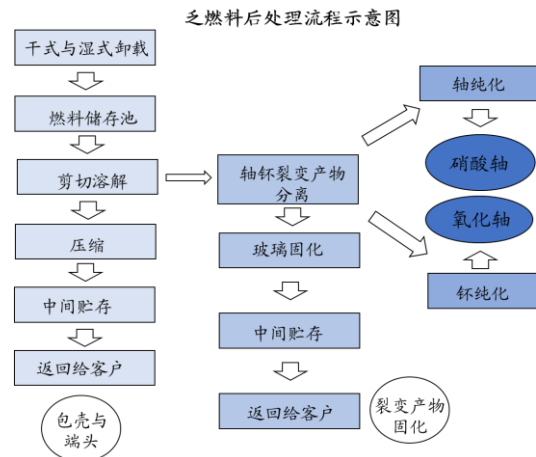
乏燃料处理方式可分为闭式循环和一次通过循环两种。闭式循环是指对乏燃料进行处理，回收其中可用的材料和元素，英法俄日等国家采取该路线，其中法国技术最为先进。一次通过循环则是将乏燃料作为放射性废物直接予以深埋贮存，采取该路线的国家主要有美加瑞(典)等。我国坚持核燃料闭式循环处理(后处理)。

图23: 快堆闭式核燃料循环



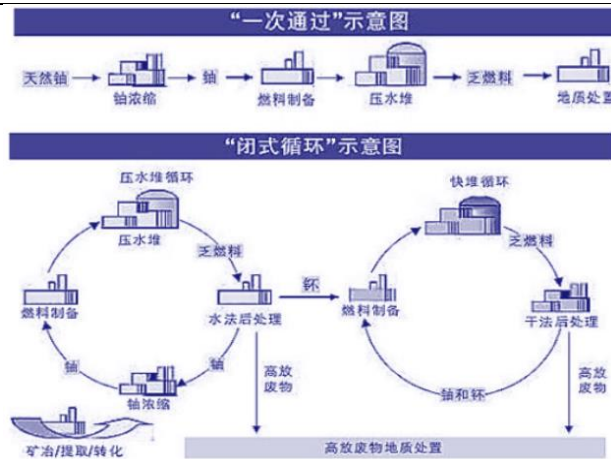
资料来源: 我国快堆闭式核燃料循环体系的现状及展望 (王宏洲 2013年)

图24: 乏燃料后处理提高铀资源利用率



资料来源: 国内外乏燃料后端处理 (田伟, 2016)、开源证券研究所

图25: 我国坚持核燃料闭式循环路线



资料来源: 中国能源报

中核集团与法国阿海珐公司合作建设处理厂，借鉴法国乏燃料闭式循环处理的大规模商业运行经验，实现核燃料的循环利用。2010年年底中国自主建设的中试厂热调试取得成功，预计2025年前后才会正式投入运行，但中试厂规模有限，年处理能力仅为50吨。与法国阿海珐公司合作后，在甘肃省境内建立年处理规模达800tHM的乏燃料处理厂已于2021年实现第一罐混凝土浇筑，预计2029年后处理设施进行热试，2030年实现投运，总造价将超过1000亿。

表8: 法国乏燃料处理技术世界领先

国家	厂名	乏燃料类型	规模 (t/a)	建成时间	备注
法国	UP2-400	氧化物	400	1966	已关闭
	UP3-800	氧化物	800	1990	
	UP2-800	氧化物	800	1994	由UP2-400改建
英国	唐瑞	快堆混合氧化物	8	1960	
	镁诺克斯	氧化物	1500		
	THORP	氧化物	600	1994	
俄罗斯	马雅克	金属铀	400	1948	1976年处理动力堆乏燃料
日本	东海村	氧化物	210	1977	实际生产能力90t/a
	六所村	氧化物	800	2008	推迟到2016年投运

印度	特朗贝	金属铀	30	1964	
	塔拉普尔	氧化物	100	1977	
	卡尔帕卡姆	氧化物	200		
美国	西谷	氧化物	300	1966	1972 年关闭
	巴威尔	氧化物	1500	1975	冷试过,未投产
德国	WAK	氧化物	35	1971	1990 年停运
中国	甘肃中试厂	氧化物	50	2010	2010 年热试成功,未投产

资料来源：立鼎产业研究院、开源证券研究所

图26：乏燃料后处理设备种类较多

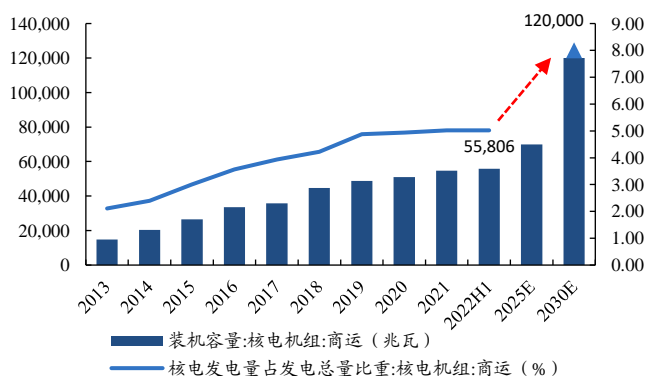
- 1、乏燃料储存设备：储水池、储存室、混凝土、储存罐
- 2、剪切机：乏燃料组件剪切成一定长度的短段、实现燃料芯和包壳的分离
- 3、溶解器：溶解乏燃料芯体和酸洗包壳两部分
- 4、沉降离心机：分离除去不溶物
- 5、混合澄清槽：逐级萃取设备
- 6、脉冲萃取柱，液液萃取
- 7、流体计量和输送装置：计量和输送过程必须避免泄露
- 8、过滤设备：包括排风过滤设备、真空过滤设备、有机过滤设备，保障在处理过程中不污染外界
- 9、铀、钚尾端处理设备：主要有流化床、钚尾端过程沉淀反应器、真空过滤器、草酸钪焙烧炉和破坏草酸沉淀浆液反应器

资料来源：乏燃料后处理设备源项计算研究（熊雯雯，2016年）、开源证券研究所

2.1.2、乏燃料后处理产能亟待提升

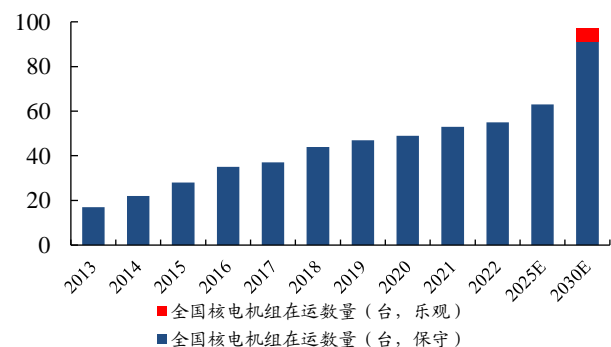
我国核电机组核准加速，2030 年核电机组装机容量有望翻倍。2022 年，我国核电机组核准加速，全年共核准 5 个核电项目总计 10 台核电机组。截至 2022 年底，我国在运核电机组 55 台；截至 2022 年 9 月，在建核电机组 23 台，为全球第一。

图27：预计 2030 年中国核电机组装机容量将实现翻倍



数据来源：Wind、经济参考报、开源证券研究所

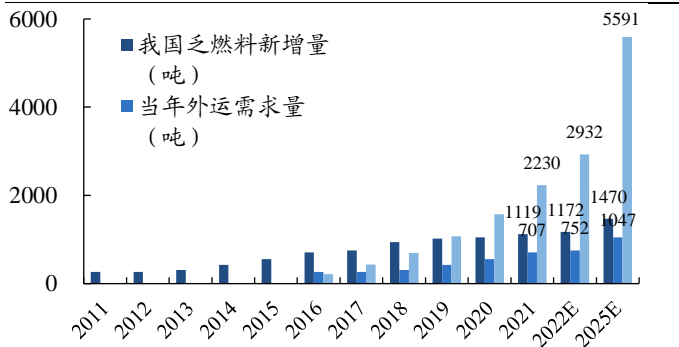
图28：预计 2030 年我国在运核电机组将达 90-96 台



数据来源：Wind、21 世纪经济报道、上海证券报等、开源证券研究所

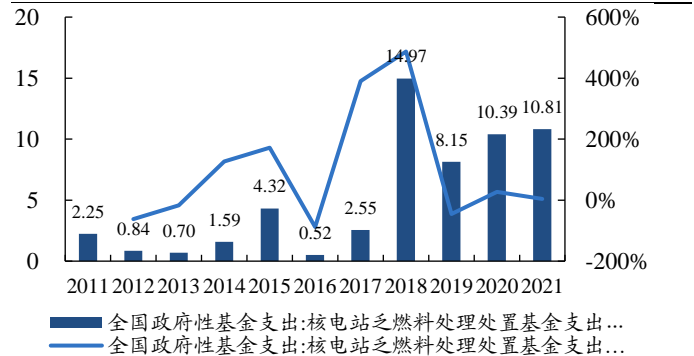
我国早期投入运行的多台核电机组已处于堆水池饱和或即将饱和的困境，政府乏燃料后处理基金支出快速增加，乏燃料离堆贮存的需求十分紧迫。目前泰山第二核电厂一、二号机组、大亚湾核电厂和岭澳核电厂在堆贮存水池已饱和或即将饱和。泰山核电厂、岭澳核电厂（二期）的核电机组在堆贮存水池在 2021-2025 期间将陆续达到饱和。

图29：预计 2025 年将有 5591 吨乏燃料离堆储存



数据来源：中国核电发展与乏燃料贮存及后处理的关系（肖雨生 2020 年）、国家统计局、Wind、开源证券研究所

图30：政府性乏燃料后处理基金支出快速增加



数据来源：国家统计局、Wind、开源证券研究所

我国乏燃料后处理产能不足，乏燃料后处理能力亟待提升。目前我国后处理产能仅 50 吨/年，在建产能约有 400 吨/年（其中首期 200 吨预计 2025 年运营；中核龙瑞乏燃料 200t 处理项目二期厂区规划于 2022 年开始建设）。相比英法俄日等国，我国乏燃料处理能力较小。

表9：相较英法俄日等国，我国乏燃料处理能力较小

国家	设施	位置	产能 (tHM/a)	投运时间
法国	UP2-800	阿格	800	1994 年
	UP3	阿格	800	1989 年
英国	镁诺克斯	塞拉菲尔德	1500	1964 年
俄罗斯	RT-1	马雅克	400	1977 年
日本	六村所	六村所	800	2024 年（计划）
印度	四座小型设施		360	-
总计			4660	

资料来源：全球乏燃料与高放废物管理现状（陆燕，2022）、中核战略规划研究总院、开源证券研究所

2025 年之后，核电装机将大幅上升，乏燃料的量会相应增加。目前，我国存量乏燃料近万吨，每年新增超 1000 吨，平均每台机组产生约 25 吨/年。预计到 2035 年存量降到 3.87 万吨，每年新增超 3000 吨。若 2035 达到动态平衡，需 3-4 个 800 吨/年后处理厂，每个投资 1000-1500 亿，总投资 3000-6000 亿元。其中设备占比约 40%-50%，智能装备占设备的 20%。

我国第一期龙腾 200 吨，总投资额约为 300 亿，其中设备投资额占比约 50%。按照 2030 年 800 吨处理产能计算，设备总投资额约为 600 亿元，折合每年 60 亿市场规模。

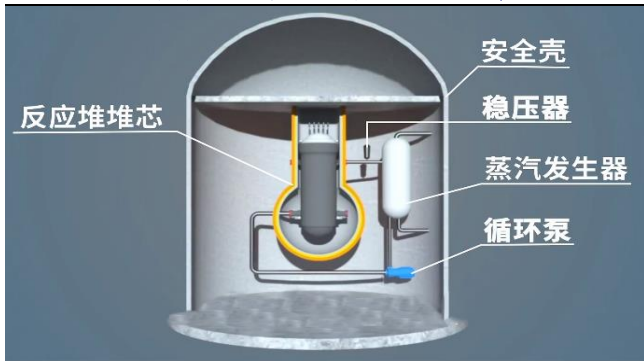
3、从 0 到 1：新燃料及乏燃料运输容器、智能设备、冷却塔

3.1、新燃料运输容器国产化伊始，资质壁垒高企

3.1.1、新燃料运输容器国产化伊始

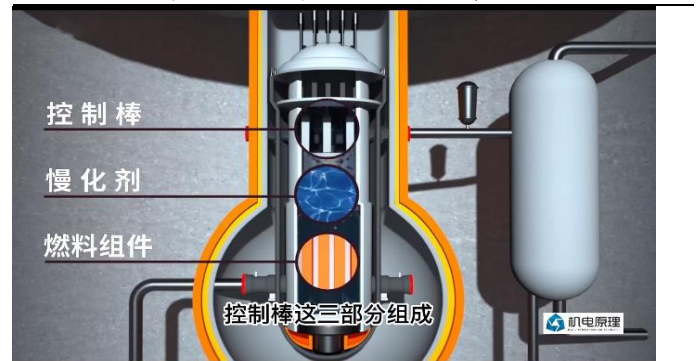
新燃料组件运输容器用于装载未经辐照、未发生核链式反应的燃料组件。核燃料安装于核电站反应堆堆芯中，可分为天然六氟化铀直接加工及乏燃料后处理加工（MOX 燃料）两种。核燃料组件一般由数百根圆柱形燃料棒成束组成，内部装载含有 2%-4%铀 235 或铀 238 的燃料。

图31：反应堆堆芯位于压水堆核电站内部



资料来源：机电原理官网

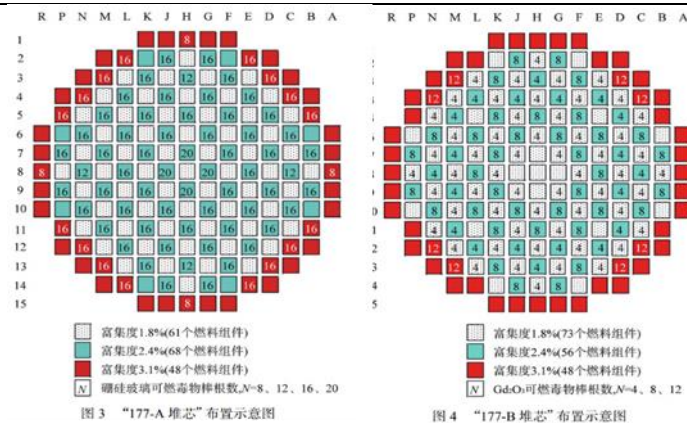
图32：核燃料组件安装在反应堆堆芯中



资料来源：机电原理官网

核燃料组件换料周期一般为 18 个月，单次更换 1/3 的燃料。以广东大亚湾核电站为例，该核电站站 M310 型反应堆堆芯由 157 个 AFA3G 燃料组件构成，换料周期 18 个月，每次更换 1/3 的燃料；华龙一号所使用的 177 堆芯由 177 个燃料组件构成。

图33：华龙一号“177堆芯”含有 177 根燃料组件



资料来源：华龙一号“177堆芯”特点分析（李冬生 2022 年）

一座百万千瓦的压水堆核电站运行 1 年，大致需要 30 吨燃料组件的运输量。目前我国的核电站主要建设在东南沿海，核燃料的生产厂和核废料处置库位于西部地区，核燃料运输耗时一周左右。

新燃料运输容器国产替代开启。运输容器型号包括 CNFC-300、STC-NF1A、ANT-12A，以及用于实验快堆燃料组件运输的 TK-C57、CEFR-MOX-N01。目前，我国已获得产品资质的企业包括科新机电、上海阿波罗、西安核设备、大连宝原核设备等。

表10：新燃料运输容器国产替代开启

运输容器型号	主要制造公司	批准日期	特点	容器质量	设计寿命
CNFC-300	西安核设备	2018 年 1 月	最多装载 2 组 FA300	2362kg	-

请务必参阅正文后面的信息披露和法律声明

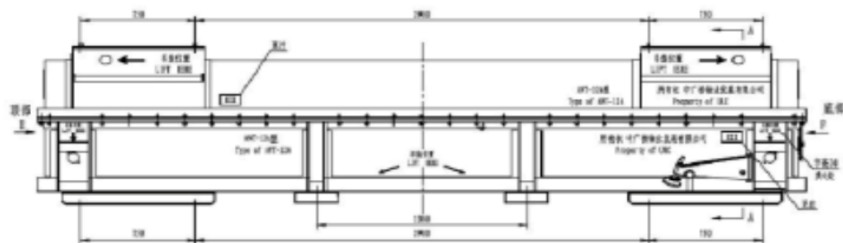
运输容器型号	主要制造公司	批准日期	特点	容器质量	设计寿命
			新燃料组件，U-235 初始富集度最高为 4%		
STC-NF1A	南通中集能源	2019 年 4 月	最多装载 1 组 RFA-XL 型新燃料组件，U-235 初始富集度最高为 4.95%	1420kg	-
ANT-12A	科新机电、上海阿波罗、大连宝原核设备有限公司	2021 年 4 月、2020 年 12 月、2022 年 1 月	最多两组带或不带相关组件的 12 英尺 STEP-12 系列与 AFA3G 系列新燃料组件，U-235 初始富集度最高为 4.95%	3200kg	40 年
TK-C57	中国原子能科学研究院	2018 年 10 月	组件重量最高为 10kg，单个组件中的燃料元件数量为 10 根，U-235 富集度最高为 5%。	100kg	20 年
CEFR-MOX-N01	中国原子能科学研究院	2017 年 11 月	最多装载 4 盒 CEFR-MOX 燃料组件，U-235 同位素富集度最高为 45%	2377kg	-

资料来源：生态环境部官网、核燃料组件运输容器应用现状概述（孙谦，2022）、开源证券研究所

ANT-12A 适用于绝大多数压水堆燃料组件运输。根据生态环境部官网《ANT-12A 型新燃料运输容器设计批准书》数据，ANT-12A 型号容器可以用于运输 STEP-12 系列，以及我国目前绝大多数压水堆核电站主要采用的 AFA3G 系列新燃料组件。

在新燃料运输容器上，科新机电已实现该领域高端设备的国产化。公司为行业内少数拥有核电资质的民营压力容器制造企业，目前已取得了 ANT-12A 型新燃料运输容器项目批量化生产订单并服务于“一带一路”相关项目。

图34：科新机电获准生产 ANT-12A 新燃料运输容器



资料来源：ANT-12A 型新燃料运输容器设计批准书

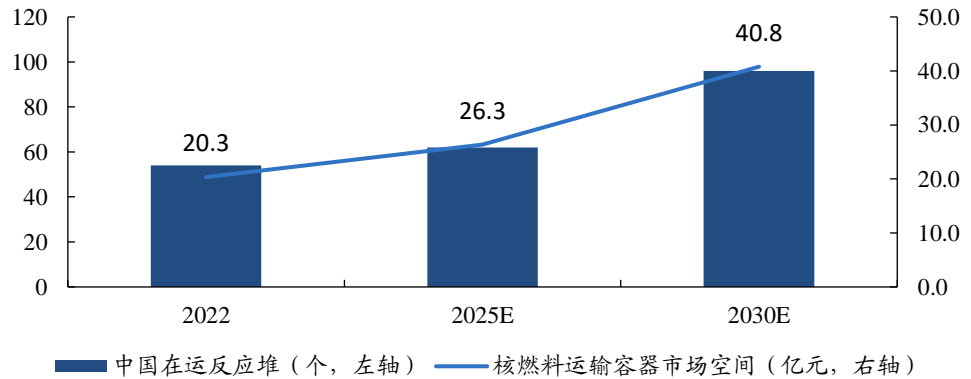
3.1.2、2030 年我国核燃料（新燃料）运输容器市场空间将达 40.8 亿元

根据《世界核电厂运行实绩报告（2022）》数据。我国目前在运核机组 54 个；我们预计，到 2025 年和 2030 年，我国在运核机组将分别达 62 个和 96 个。

假设我国在运反应堆堆芯燃料组件数平均 157 个，在建核机组堆芯燃料组件数与“华龙一号”相同，为 177 个；反应堆堆芯换料平均周期为 15 个月，每次更换 1/3 的燃料；假设核机组有一定的新燃料贮存要求。

假设核燃料（新燃料）运输容器单价 150 万元，单台设备每年将使用一次，我们测算，2022 年我国核燃料换料所需运输容器市场空间为 20.3 亿元，至 2025 年约为 26.3 亿元，2030 年或将达 40.8 亿元。

图35: 我们预计，2030 年我国核燃料运输容器市场空间将达 40.8 亿元



数据来源：世界核电厂运行实绩报告（世界核协会 2022 年）、中核战略规划研究总院、Wind、开源证券研究所

表11: 我们预计，2030 年我国新燃料运输容器市场空间将达 40.8 亿元

	2022	2025E	2030E
中国在运反应堆 (个)	54	62	96
堆芯平均组件数量	157	177	177
平均组件替换周期 (年)	1.25	1.25	1.25
每次替换组件占比	1/3	1/3	1/3
平均每年替换组件数量	2261	2926	4531
每件新燃料运输容器搭载组件数	2	2	2
每年所需新燃料运输容器数量	1130	1463	2266
新燃料运输容器单价 (万元)	150	150	150
新燃料运输容器市场空间 (亿元)	20.3	26.3	40.8

数据来源：世界核电厂运行实绩报告（世界核协会 2022 年）、中核战略规划研究总院、Wind、开源证券研究所

3.2、乏燃料贮运容器、智能设备前景广阔

3.2.1、乏燃料运输容器国产替代空间大

乏燃料后处理贮运容器主要分为金属容器和混凝土容器两种。乏燃料后处理前首先需要贮存-运输-贮存，其刚卸出时仍然会放出大量热量，需要先核电站的乏燃料水池中进行冷却（湿法贮存）5-8 年。经过湿法贮存的乏燃料将被运输到其他地方进行集中暂存，以备后处理。在乏燃料贮运容器中，金属容器安全性高，但成本较为高昂；混凝土容器造价较低，但安全性不如金属容器。

乏燃料运输容器结构复杂，性能要求及工艺难度高。目前我国所采用的乏燃料运输容器主要为从美国采购的 NAC-STC 型（两台，单台价格 3,000 万美元）和 Hi-star 60 型商业压水堆乏燃料运输容器，单台容量分别为 26 组、12 组。此外，乏燃料储运容器中还包括储运两用容器等，该种容器在转运至集中贮存点后可直接就地储存，既减少了一次乏燃料取出-放置的过程，也省去了空容器运输的成本。

日本乏燃料干式离堆贮存对我国具有借鉴意义。1998年后，日本的乏燃料没有再委托其他国家处理，由于后处理厂投运时间延期，乏燃料已经快达到其容量上限，因此日本已大规模采用干式离堆贮存方式。预计到2025年，中国有3000吨乏燃料需要离堆贮存。日本的乏燃料暂存、处置方式具有借鉴意义。

表13: 国内核废料处置主体均为大型核电央企

公司	母公司	经营范围	现状
中核清原	中核集团	中低放核废料处置及高放核废料运输	负责运营甘肃中低放处置厂及高放核燃料运输
中广核工程公司	中广核集团	中低放核废料处置	负责运营北龙中低放处置厂
中电远达	国电投集团	中低放核废料处置	计划在山东等地建设中低放处置厂，暂无牌照

资料来源：国防科工局、开源证券研究所

湿式贮存为目前普遍采用的方法，干式贮存有望成为未来主流。干法贮存前期投入较大，但安全性高，且储运方便。2021年11月，秦山三期规划建设乏燃料临时干式贮存设施，拟建设18个QM-400模块，并留有增建2个模块的场地，每个QM-400模块可贮存24000根乏燃料棒束，按照机组实际产生的乏燃料推算，可存贮机组运行45年的乏燃料。

图37: 乏燃料湿式贮存依靠池水



资料来源：中国核电网

图38: 乏燃料干式贮存依靠容器外壳屏蔽辐射



资料来源：中国核电网

目前，上海阿波罗在乏燃料干法贮存容器领域已有成品交付。2020年12月，公司生产的干法贮存容器发往田湾核电站。

根据 Nuclear Energy Institute 数据，干法贮存设施和设备的前期投入需要至少800万美金，但每年贮存乏燃料的成本只需要30万美金。假设单个乏燃料干式贮存容器设计容量为15吨，售价为900万美金，按2025年乏燃料累计产量为1.6万吨计算，则到2025年，干式贮存容器的市场规模在96亿美元。

图39: 上海阿波罗具有乏燃料干法贮存容器生产能力



资料来源：上海阿波罗微信公众号

3.2.3、乏燃料后处理智能设备自主可控需求迫切

实体清单限制，核工业关键设备自主可控需求迫切。近年来，中美贸易摩擦不断加剧，2018年10月美国能源部限制对中国出口核技术，并于2020年6月美国国防部将中核集团等企业列入“实体清单”，但国内核工业领域部分进口设备已达到使用寿命期限，面临设备无法迭代更新的困难局面。我国迫切需要在关键设备环节进行进口替代，实现自主可控。

目前入局乏燃料后处理智能设备的厂商包括景业智能等。景业智能第二代电随动机械手在各方面已经可完全实现进口替代，且在部分性能指标上已超越大部分国际一线随动机械手。

表14: 景业智能第二代电随动机械手部分性能已超越国际一线厂商

性能指标	法国 A 公司 M 型机械手	俄罗斯 B 公司 S 型机械手	德国 C 公司 T 型机械手	景业智能 第一代电随动 机械手	景业智能 第二代电随动机 械手
各关节运动范围	肩关节旋转±255° 肩关节摆动+87~22° 肘关节旋转±170° 肘关节摆动0°，伸缩 2450mm 腕关节旋转±360° 腕关节摆动+38~-114°	肩关节、肘关节和 腕关节旋转均为± 360° 肩关节、肘关节和 腕关节摆动均为± 105°	肩关节、肘关节和腕 关节旋转均为± 360° 肩关节、肘关节和腕 关节摆动均为± 360°	肩关节、肘关节和 腕关节旋转均为± 360°；肩关节、肘 关节和腕关节摆动 均为±110°	肩关节、肘关节和腕 关节旋转均为± 360°；肩关节、肘 关节和腕关节摆动均 为±360°；
操控模式	异构操作 可编程智能运行	同构操作	异构操作 可编程智能运行	同构操作 异构操作 可编程智能运行	同构操作 异构操作 可编程智能运行
操作端反馈力度	持续 10N 最大 35N	-	最大反馈力 20N	最大反馈力 50N 可调节	最大反馈力 100N 可调节
驱动方式	伺服电机系统	自整角机系统	伺服电机系统	伺服电机系统	伺服电机系统
密封形式	动态密封	静态密封	静态密封	静态密封	静态密封
安装方式	固定式安装	固定式安装	固定式安装	固定式+移动式安装	固定式+移动式安装

资料来源：景业智能公告、开源证券研究所

表15: 景业智能分析用取样机器人可显著提升放射性料液取样流程的工作效率，价格较国外有明显优势

技术要求	测试条件	景业智能 分析用取样机器人	德国 D 公司 S 型取样器	法国 E 公司 P 型取样器
取样操作自动化	取样操作机构	电机驱动的机械结构和取样 机械臂，直接夹持样品瓶取样	电机驱动的机械结 构，直接夹持样品瓶取样	自动机械臂，需通过 特制工具抓取样品瓶取样
	取送样操作方式	全自动，可人工操作	全自动	全自动
	取样时间	≤3min	-	6min
定量取样 直接气动送样	样品瓶	10mL 样品瓶，事先抽真空， 不重复使用	3mL 样品瓶（聚乙 烯材质）、不抽真空，不 重复使用	10mL 样品瓶（聚乙烯 材质），事先抽真空，不重 复使用。可直接用于自动 分析
	送样方式	真空抽吸气动送样	真空抽吸气动送样	真空抽吸气动送样
	送样容器	样品瓶直接作为送样容器	样品瓶直接作为送 样容器	样品瓶直接作为送样 容器
取样针便于检 维修	取样针	单针，防堵设计	双针	单针
	取样针检修方式	通过手套口或主从手直接快 速更换	通过手套口人工拆 除部分机构后手工更换	自动机械臂抓取特制 工具自动更换

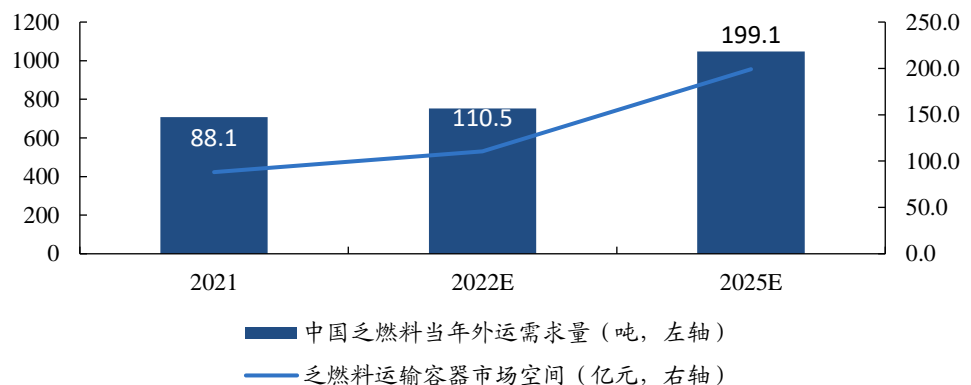
资料来源：景业智能公告、开源证券研究所

3.2.4、2025 年我国乏燃料运输容器市场空间或达 199.1 亿元

我国乏运输容器依赖进口，运输能力严重不足。截至 2019 年，我国乏燃料的运输工作主要由中国核工业集团下的中核清原环境技术有限责任公司承担。该公司仅拥有从美国购买的两种商业压水堆乏燃料运输容器，容量分别为 26 组和 12 组，运输能力严重不足。

核电站投入运行第二年开始卸料，100 万 kw 每年产生 21t 的乏燃料。根据我国现有的乏燃料处理能力，我们测算，我国 2021/2022/2025 年乏燃料当年外运需求量分别为 707 吨/752 吨/1047 吨；离堆贮存需求量分别为 2230 吨/2932 吨/5591 吨。从国外研制乏燃料运输容器的发展历程来看，乏燃料运输容器吨级会经历 10t-20t-100t 等几个阶段。我国目前仅完成了第一个 10t 阶段（以核二院为主导），还尚未进入到第二个阶段。假设我国乏燃料运输容器单次容量为 10t，单价 3000 万元，我们测算，2021/2022/2025 年我国乏燃料运输容器市场空间分别为 88.1/110.5/199.1 亿元。

图40: 我们预计，2025 年我国乏燃料运输容器市场空间为 199.1 亿元



数据来源：乏燃料运输容器研究进展（汪海，2015 年）、中国核电发展与乏燃料贮存及后处理的关系（肖雨生，2020 年）、Wind、开源证券研究所

表16: 我们预计，2025 年我国乏燃料运输容器市场空间为 199.1 亿元

	2021	2022E	2025E
中国乏燃料当年外运量（即离堆贮存增量，吨）	707	752	1047
中国乏燃料当年离堆贮存需求量（吨）	2230	2932	5591
中国乏燃料所需运输量（吨）	2937	3684	6638
商用堆用小型乏燃料运输容器单次容量	10	10	10
每年所需商用堆用小型乏燃料运输容器数量	294	368	664
乏燃料运输容器单价（万元）	3000	3000	3000
乏燃料运输容器市场空间（亿元）	88.1	110.5	199.1

数据来源：乏燃料运输容器研究进展（汪海，2015 年）、中国核电发展与乏燃料贮存及后处理的关系（肖雨生，2020 年）、Wind、开源证券研究所

3.2.5、乏燃料后处理智能装备探寻千亿市场规模

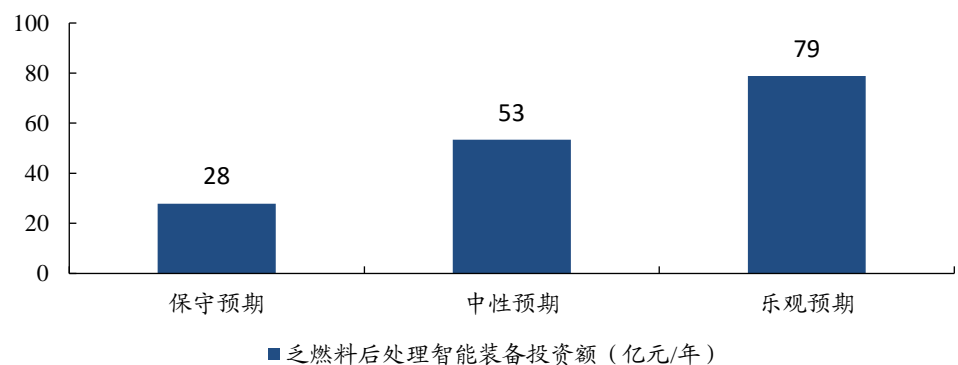
核工业智能装备领域有望迎来千亿市场规模。根据景业智能披露数据，我们测算，2021-2035 年乏燃料后处理智能装备市场规模约为 418 亿元-1183 亿元，按直线法均摊，每年投资额约 28 亿元-79 亿元。

表17: 预计 2021-2035 年乏燃料后处理智能装备市场规模可达千亿

	最小值	最大值	平均值
我国乏燃料后处理厂建设投资总规模	4500	6000	
设备投资占比	39.84%	1792.8	2390.4
保守预期下, 智能装备占比设备投资比重	20.00%	358.6	478.1
中性预期下, 智能装备占比设备投资比重	38.28%	686.3	915.0
乐观预期下, 智能装备占比设备投资比重	56.56%	1014.0	1352.0

数据来源: 景业智能公告、开源证券研究所

图41: 预计 2021-2035 年乏燃料后处理智能装备年均投资额约 28 亿元-79 亿元



数据来源: 景业智能公告、开源证券研究所

3.3、冷却塔沿海核电应用趋势明朗

冷却塔沿海核电应用趋势明朗。目前, 沿海核电站多使用直流冷却方案, 但取水量、用水量、排热量极大, 对鱼类繁衍等生态问题有较大影响, 且在藻类生长的旺季容易发生滤网堵塞, 造成潜在风险。2022 年 12 月 16 日, 我国首座核电站超大型冷却塔——广东廉江核电项目一期工程 1 号冷却塔顺利完成首段环基混凝土浇筑。2023 年 3 月 14 日, 中国核电工程有限公司发布自然通风湿式冷却塔基于水轮驱动的势能利用技术研究项目采购公告, 核电海水二次循环冷却 (冷却塔冷却) 应用趋势明朗。

图42: 沿海核电应用或为冷却塔新增量



资料来源: 核美湛江公众号

依据核电站循环水系统及配套冷却塔的特点, 100 万千瓦装机容量机组应配套 2 台 2800m³/h 核岛用冷却塔和 1 台 1,000m³/h 常规岛用冷却塔。以 2022 年核电

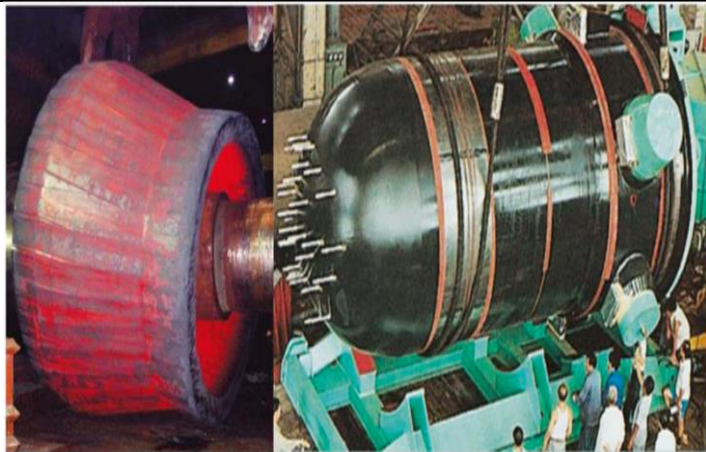
5698.6 万千瓦装机容量，2030 年预计达到 12000 万千瓦装机容量计算，则有 126 台核岛用冷却塔和 63 台常规岛用冷却塔的市场空间。

4、行至中途：核岛设备、核电阀门、辅助设备

4.1、核岛设备国产替代程度不一

反应堆压力容器：压力容器在核岛设备投资中的占比最高，占 23%。压力容器是安置核反应堆并承受其巨大运行压力的密闭容器，作为防止放射性外泄的第二道屏障，对核安全至关重要，它具有制造技术标准高、难度大和周期长等特点。根据中国一重 2020 年报显示，国内大部分反应堆压力容器由中国一重制造，2020 年订货 20.23 亿元，同比增加 18.03 亿元，毛利同比上升 4%。除国企之外，科新机电、海陆重工、海锅股份、兰石重装等民企也在布局生产反应堆压力容器。国产化方面，在 2016 年，中国核电站反应堆压力容器的最后一个关键零部件—C 型密封环实现了国产化，中国成为继美国之后全球第二个能生产 C 型密封环的国家。

图43：压力容器在核岛设备投资中的占比最高



资料来源：中国一重招股说明书

主管道：它连接反应堆一次冷却剂系统的压力容器、蒸汽发生器、主泵等关键部件，在核岛设备投资中的占比达 20%。国产化进程方面，渤船重工在三门一期 AP1000 机组中供货的主泵，首次实现了 100% 国产化。根据中为咨询数据，台海核电生产的主管道在国内核电市场的占有率达 50%，并出口到巴基斯坦。台海核电 2020 年报显示，核电站一回路主管道占该公司主营业务 6.37%，已供货 10 余套主管道，有 5 套正在生产制造。

图44: 主管道连接一次冷却剂系统的压力容器、蒸汽发生器、主泵等关键部件


资料来源：能源界

主泵：主泵是核电运转控制水循环的关键，功能是使冷却剂形成强迫循环，从而把反应堆中产生的热量传送到蒸汽发生器以产生蒸汽，驱动汽轮机做功。**国产化进程方面**，2018年，哈电集团和沈阳鼓风机集团共同承制的首台 AP1000 屏蔽电机主泵试验成功，标志着我国成功实现核主泵国产化。**主泵泵壳国产化方面**，应流股份、台海核电通过引进消化吸收国外技术，目前已将主泵泵壳实现了国产化。根据台海核电 2020 年报，该公司于 2016 年 3 月取得铸造主泵泵壳生产资质，目前已供货 12 件主泵泵壳。

图45: 主泵是核电运转控制水循环的关键


资料来源：哈电集团

蒸汽发生器 U 型传热管：蒸汽发生器的 U 型传热管为防止放射性产物外泄的主要屏障，其完整性对于蒸汽发生器和整个核电站的安全运行都十分重要。从国产化进程看，目前国内有 2 家厂商具备核电用不锈钢无缝管的生产能力，久立特材是国内较少具备采用国际先进的热挤压工艺生产核电用不锈钢无缝管的厂商，于 2017 年 10 月、12 月先后中标白龙核电 2 号机组与漳州核电 1 号机组蒸汽发生器 690U 形管项目，验证了其产品的实力。

图46: 蒸汽发生器 U 型传热管完整性对核电站安全运行十分重要



资料来源：哈电集团

4.2、核电阀门自主可控力强

核电阀门是指在核电站中核岛、常规岛和电站辅助设施系统中使用的阀门。它连接整个核电站的数百个系统，控制并调节介质的压力、温度、流向、流量，并对压力容器及核电系统起着安全保护的重要作用，是核电站安全运行中的必不可少的重要组成部分。

核级阀门在核岛中使用量较大，在整个核岛设备的投资中占比约 12%、常规岛占比 19%。国内民营企业积极布局核电阀门领域，目前核级阀门已基本实现了国产化，国产化程度已超过 80%。

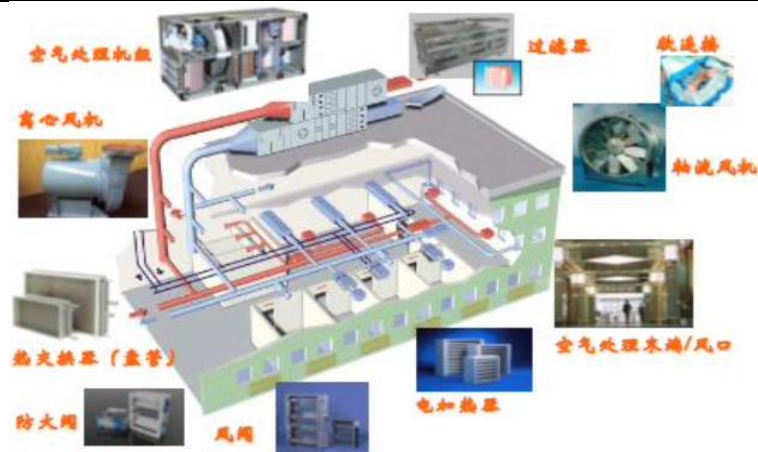
我国核电阀门企业起步晚、规模小、在中高端产品领域有较大差距，仍存在较大的进步空间。国外公司通常成立于 2000 年以前，有着长期研究核电阀门的经验，2021 年，美国西屋电气的营业收入约为 274 亿元人民币，而我国核电阀门民营龙头企业江苏神通，2021 年营业收入为 19 亿元，差距较大。根据华经产业研究院数据，2020 年我国核电阀门市场规模约为 38 亿元。

4.3、辅助设备 HVAC 系统已实现国产化

暖通空调（HVAC）系统设备：核电站的 HVAC 系统设备是保障核岛正常运行以及工作人员工作环境安全的关键设备。核电领域对 HVAC 系统设备的性能参数、运行的可靠性、安全性、耐久性等要求非常严格。例如核岛 HVAC 系统至少要保证 40 年的使用寿命，在发生故障情况下将放射性气体及时过滤排除，还需满足耐辐射、耐腐蚀等要求。

国产化进程方面，参与 HVAC 系统设备制造的公司主要有南风股份、盾安环境、盈峰环境、金盾股份等。南风股份在核电站 HVAC 系统设备的市场占有率达 70% 以上，自主研发的设备打破了国外领先企业对国内的技术垄断，实现了核电站核岛 HVAC 系统关键设备的国产化。

图47: 核电站通风与空气处理 (HVAC) 系统及设备



资料来源: 南风股份招股说明书

5、受益标的

海鸥股份 (冷却塔)、科新机电 (核燃料运输容器)、景业智能 (核工业智能设备及机器人)、华荣股份 (防爆电器)、兰石重装 (核级压力容器)、佳电股份 (主氨风机)、江苏神通 (阀门)、中核科技 (阀门)、中密控股 (机械密封件)。

表18: 核电各细分领域有望受益

细分领域	受益标的			EPS			PE		
	代码	公司名称	评级	2022E	2023E	2024E	2022E	2023E	2024E
冷却塔	603269.SH	海鸥股份	买入	0.54	1.36	2.18	30.8	12.3	7.7
核燃料运输容器	300092.SZ	科新机电	买入	0.44	0.52	0.80	35.77	30.27	19.68
核工业智能设备及机器人	688290.SH	景业智能	买入	1.48	1.94	2.77	57.03	43.51	30.47
防爆电器	603855.SH	华荣股份	未评级	1.24	1.70	2.12	21.4	15.6	12.5
核级压力容器	603169.SH	兰石重装	未评级	0.13	0.30	0.40	57.6	26.1	19.4
主氨风机	000922.SZ	佳电股份	未评级	0.58	0.65	-	19.8	17.4	-
阀门	002438.SZ	江苏神通	未评级	0.51	0.76	0.97	24.1	16.1	12.7
	000777.SZ	中核科技	未评级	-	-	-	-	-	-
机械密封件	300470.SZ	中密控股	未评级	1.64	2.05	2.51	27.5	22.0	17.9

数据来源: Wind、开源证券研究所 注: 表中海欧股份、科新机电、景业智能数据来源为开源证券研究所, 其他数据来源为 Wind 一致预测, 最新收盘日 2023 年 4 月 7 日。景业智能、科新机电、兰石重装 2022 年年度报告业已发布, 故其 2022 年 EPS 为实际值。

6、风险提示

政策面、资金面支持效果不及预期。

核电机组核准节奏不及预期, 核电设备国产化进程不及预期。

乏燃料处理设备研发进度不及预期。

特别声明

《证券期货投资者适当性管理办法》、《证券经营机构投资者适当性管理实施指引（试行）》已于2017年7月1日起正式实施。根据上述规定，开源证券评定此研报的风险等级为R3（中风险），因此通过公共平台推送的研报其适用的投资者类别仅限定为专业投资者及风险承受能力为C3、C4、C5的普通投资者。若您并非专业投资者及风险承受能力为C3、C4、C5的普通投资者，请取消阅读，请勿收藏、接收或使用本研报中的任何信息。

因此受限于访问权限的设置，若给您造成不便，烦请见谅！感谢您给予的理解与配合。

分析师承诺

负责准备本报告以及撰写本报告的所有研究分析师或工作人员在此保证，本研究报告中关于任何发行商或证券所发表的观点均如实反映分析人员的个人观点。负责准备本报告的分析师获取报酬的评判因素包括研究的质量和准确性、客户的反馈、竞争性因素以及开源证券股份有限公司的整体收益。所有研究分析师或工作人员保证他们报酬的任何一部分不曾与，不与，也将不会与本报告中的具体的推荐意见或观点有直接或间接的联系。

股票投资评级说明

	评级	说明
证券评级	买入（Buy）	预计相对强于市场表现 20%以上；
	增持（outperform）	预计相对强于市场表现 5%~20%；
	中性（Neutral）	预计相对市场表现在 -5%~+5%之间波动；
	减持	预计相对弱于市场表现 5%以下。
行业评级	看好（overweight）	预计行业超越整体市场表现；
	中性（Neutral）	预计行业与整体市场表现基本持平；
	看淡	预计行业弱于整体市场表现。

备注：评级标准为以报告日后的 6~12 个月内，证券相对于市场基准指数的涨跌幅表现，其中 A 股基准指数为沪深 300 指数、港股基准指数为恒生指数、新三板基准指数为三板成指（针对协议转让标的）或三板做市指数（针对做市转让标的）、美股基准指数为标普 500 或纳斯达克综合指数。我们在此提醒您，不同证券研究机构采用不同的评级术语及评级标准。我们采用的是相对评级体系，表示投资的相对比重建议；投资者买入或者卖出证券的决定取决于个人的实际情况，比如当前的持仓结构以及其他需要考虑的因素。投资者应阅读整篇报告，以获取比较完整的观点与信息，不应仅仅依靠投资评级来推断结论。

分析、估值方法的局限性说明

本报告所包含的分析基于各种假设，不同假设可能导致分析结果出现重大不同。本报告采用的各种估值方法及模型均有其局限性，估值结果不保证所涉及证券能够在该价格交易。

法律声明

开源证券股份有限公司是经中国证监会批准设立的证券经营机构，已具备证券投资咨询业务资格。

本报告仅供开源证券股份有限公司（以下简称“本公司”）的机构或个人客户（以下简称“客户”）使用。本公司不会因接收人收到本报告而视其为客户。本报告是发送给开源证券客户的，属于商业秘密材料，只有开源证券客户才能参考或使用，如接收人并非开源证券客户，请及时退回并删除。

本报告是基于本公司认为可靠的已公开信息，但本公司不保证该等信息的准确性或完整性。本报告所载的资料、工具、意见及推测只提供给客户作参考之用，并非作为或被视为出售或购买证券或其他金融工具的邀请或向人做出邀请。本报告所载的资料、意见及推测仅反映本公司于发布本报告当日的判断，本报告所指的证券或投资标的的价格、价值及投资收入可能会波动。在不同时期，本公司可发出与本报告所载资料、意见及推测不一致的报告。客户应当考虑到本公司可能存在可能影响本报告客观性的利益冲突，不应视本报告为做出投资决策的唯一因素。本报告中所指的投资及服务可能不适合个别客户，不构成客户私人咨询建议。本公司未确保本报告充分考虑到个别客户特殊的投资目标、财务状况或需要。本公司建议客户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。在任何情况下，本报告中的信息或所表述的意见并不构成对任何人的投资建议。在任何情况下，本公司不对任何人因使用本报告中的任何内容所引致的任何损失负任何责任。若本报告的接收人非本公司的客户，应在基于本报告做出任何投资决定或就本报告要求任何解释前咨询独立投资顾问。

本报告可能附带其它网站的地址或超级链接，对于可能涉及的开源证券网站以外的地址或超级链接，开源证券不对其内容负责。本报告提供这些地址或超级链接的目的纯粹是为了客户使用方便，链接网站的内容不构成本报告的任何部分，客户需自行承担浏览这些网站的费用或风险。

开源证券在法律允许的情况下可参与、投资或持有本报告涉及的证券或进行证券交易，或向本报告涉及的公司提供或争取提供包括投资银行业务在内的服务或业务支持。开源证券可能与本报告涉及的公司之间存在业务关系，并无需事先或在获得业务关系后通知客户。

本报告的版权归本公司所有。本公司对本报告保留一切权利。除非另有书面显示，否则本报告中的所有材料的版权均属本公司。未经本公司事先书面授权，本报告的任何部分均不得以任何方式制作任何形式的拷贝、复印件或复制品，或再次分发给任何其他人，或以任何侵犯本公司版权的其他方式使用。所有本报告中使用的商标、服务标记及标记均为本公司的商标、服务标记及标记。

开源证券研究所

上海

地址：上海市浦东新区世纪大道1788号陆家嘴金控广场1号楼10层

邮编：200120

邮箱：research@kysec.cn

深圳

地址：深圳市福田区金田路2030号卓越世纪中心1号楼45层

邮编：518000

邮箱：research@kysec.cn

北京

地址：北京市西城区西直门外大街18号金贸大厦C2座9层

邮编：100044

邮箱：research@kysec.cn

西安

地址：西安市高新区锦业路1号都市之门B座5层

邮编：710065

邮箱：research@kysec.cn