

核电系列研究报告（2）：核电堆型—三代堆型双星闪耀，四代技术蓄势待发

三门与台山等三代示范堆相继投入商运，预计核电重启将提上日程。近年来随着自主核技术的进步，原有“三步走”战略面临一定修正，各大运营商和设备商的利益格局将有重大变化。

核心观点

- 我国核电技术秉持三步走战略，目前压水堆已进入三代，四代快堆、高温气冷堆等技术储备丰厚。经过三十多年的探索，核电由“核”属性转为“电”属性，经济性、安全性的重要程度超过政治、军事意义成为考量核电发展前景的核心要素。
- 纵向上，我国正处于核电发展第一纪元的末期，即核安全仍处于概率安全的阶段，三代技术只是二代技术的升级，但没有本质区别。最新的三代核技术已将核事故概率已降至极低的程度，严重核事故发生的概率微乎其微，未来一段时期内我国将进入三代核技术的规模化建设阶段。
- 横向上，引进的三代 AP1000 技术和国产华龙一号技术构成了我国当前主要的核电技术体系，从经济性和安全性角度对比，两种堆型各有利弊，短期内将同步发展。利益相关方的博弈是装备制造环节的最大变数和看点。国内核工业格局仍在剧烈变化，中短期内堆型选择还要考虑相关方的利益。两种机型的竞争不仅关系到技术所有者的利益，对于装备产业的上市公司业绩也有不同程度的影响。
- 从经济性和安全性角度看，四代堆型研究具备优势，高温气冷堆的应用领域非常广泛，快堆则是实现核燃料闭环的关键，乏燃料有望变废为宝。目前我国在这两种堆型的研究应用居于全球领先地位，并都已示范项目进入建设阶段，2030 年有望实现商用。

投资建议与投资标的

- 我们认为随着三代技术首堆的投运，核电将开启新一轮规模化建设期，中国核建作为核岛工程的主要承建商和四代堆技术所有者，将在下一轮建设热潮中显著受益；目前的核电业主将进一步扩大规模，建议关注国内最主要的两家核电运营商中国核电；未来一段时间内三代技术将是新建电站的主要选择，三代技术通用设备的主要供应商将直接获益，建议关注 ST 一重、中核科技、江苏神通和浙富控股；在多种因素作用下，AP1000 和华龙一号将出现份额之争，建议关注 AP1000 的主要获益者上海电气和华龙一号的主要获益者东方电气、台海核电。

风险提示

- 核电核准进度及数量低于预期
- 全球核电行业发生重大核事故

证券代码	公司名称	股价	EPS			PE			投资评级
			17	18E	19E	17	18E	19E	
601985	中国核电	5.53	0.29	0.39	0.44	19.14	14.26	12.50	增持

资料来源：公司数据，东方证券研究所预测，每股收益使用最新股本全面摊薄计算，（上表中预测结论均取自最新发布上市公司研究报告，可能未完全反映该上市公司研究报告发布之后发生的股本变化等因素，敬请注意，如有需要可参阅对应上市公司研究报告）



行业评级

看好 中性 看淡 (维持)

国家/地区

中国/A 股

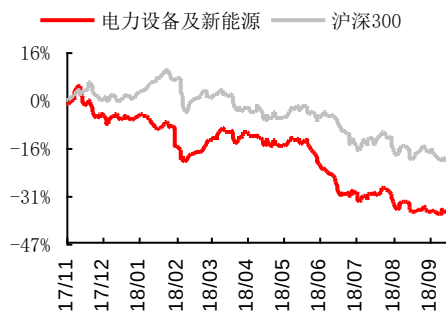
行业

电力设备及新能源

报告发布日期

2018 年 11 月 01 日

行业表现



资料来源：WIND

证券分析师

彭翀

021-63325888-6103

pengchong@orientsec.com.cn

执业证书编号：S0860514050002

联系人

彭海涛

021-63325888-5098

penghaitao@orientsec.com.cn

陈聪颖

021-63325888-7900

chencongying@orientsec.com.cn

相关报告

核电动态跟踪（三）：两核重组获批，核电格局进入新时代 2018-01-31

东方证券股份有限公司经相关主管机关核准具备证券投资咨询业务资格，据此开展发布证券研究报告业务。

东方证券股份有限公司及其关联机构在法律许可的范围内正在或将要与本研究报告所分析的企业发展业务关系。因此，投资者应当考虑到本公司可能存在对报告的客观性产生影响的利益冲突，不应视本证券研究报告为作出投资决策的唯一因素。

有关分析师的申明，见本报告最后部分。其他重要信息披露见分析师申明之后部分，或请与您的投资代表联系。并请阅读本证券研究报告最后一页的免责申明。

目 录

核电大战略：三步走战略稳步推进	4
压水堆是我国核电事业起步阶段的必然选择	4
快中子增殖堆是化解核燃料供应和废料难题的重要途径	5
聚变堆是能源供应的终极手段	6
从混乱到清晰，二代核电在曲折中发展	7
堆型选择：十年争论确定压水堆为发展方向	7
管理体制：从姓“核”到姓“电”	8
业主格局：从一家独大到三足鼎立	8
二十年探索路径渐明，《中长期纲要》一锤定音	10
三代核电：AP1000 与华龙一号的跷跷板游戏	10
三代初衷：引进技术，弯道超车	10
计划中的 AP1000 与计划外的华龙一号	11
三代技术体系构建始末	11
安全性与经济性等核心指标不相上下	12
多重因素决定两种技术将并行发展	14
利益相关方的博弈决定了核工业演变的走势	14
潜在的多业主格局为竞争前景增添变数	15
三代技术的选择对装备企业影响不一	15
四代核电：开启核电发展第二纪元	17
四代核电技术概览	17
中国四代核技术发展现状	17
高温气冷堆示范项目即将投运	18
快中子增殖堆从实验阶段步入示范阶段	19
其他技术仍处于研究早期	20
两核重组后中核集团四代核技术储备一骑绝尘	21
未来展望：严守三步走战略，综合考虑各方博弈	21
投资建议	22
风险提示	22

图表目录

图表 1：压水堆是当今世界反应堆的主力型号	4
图表 2：我国的核电机组绝大多数为压水堆	4
图表 3：核燃料循环示意图	5
图表 4：我国铀资源储量相对较少（吨）	5
图表 5：我国的铀开采量难以满足国内电站需求（吨）	5
图表 6：我国面临巨大的乏燃料贮存和处理压力	6
图表 7：我国核电发展中的堆型选择问题	7
图表 8：我国核电发展中的管理问题	8
图表 9：我国核电主管部门历次变动	8
图表 10：中广核 M310 堆型电站国产化率迅速提升	9
图表 11：中广核 M310 堆型建设周期迅速减少	9
图表 12：中广核下辖电站比投资统计（元/kW）	10
图表 13：中核下辖电站堆型及比投资统计（元/kW）	10
图表 14：AP1000 堆型示意图	12
图表 15：华龙一号堆型示意图	12
图表 16：AP1000、华龙一号以及 CAP1400 示范项目进展情况	12
图表 17：AP1000 与华龙一号 CDF 指标高出行业标准 2 个数量级	13
图表 18：AP1000 与华龙一号 LRF 指标高出行业标准 1 个数量级	13
图表 19：传统电力集团积极参股核电并持有较多储备厂址	15
图表 20：AP1000 首堆与华龙一号首堆装备供应商存在一定差异	16
图表 21：三代机组设备投资拆分	16
图表 22：高温气冷堆结构示意图	18
图表 23：高温气冷堆应用领域十分广泛	18
图表 24：与压水堆相比，高温气冷堆结构简化、安全性高	19
图表 25：钠冷快堆原理示意图	20
图表 26：中国超临界水冷堆路线图	21
图表 27：钍基熔盐堆技术路线和阶段目标	21
图表 28：我国四代堆技术信息汇总	21

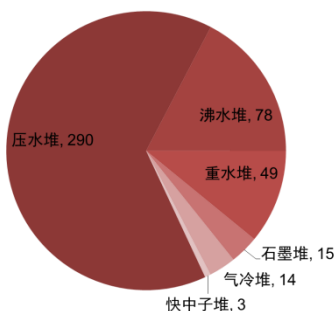
核电大战略：三步走战略稳步推进

1983年6月，国务院科技领导小组主持召开专家论证会，提出了中国核能发展“三步走（压水堆—快堆—聚变堆）”的战略，以及“坚持核燃料闭式循环”的方针，这一战略在《核电中长期发展规划（2005～2020年）》等一系列后续文件中不断被重申。从核能所使用的资源角度来看，中国核能发展的第一步，发展以压水堆为代表的慢中子反应堆，即利用加压轻水慢化后的慢中子产生裂变的能量来发电的反应堆技术，利用铀资源中0.7%的 ^{235}U ，解决“百年”的核能发展问题；第二步，发展以快堆为代表的增殖与嬗变堆，即由快中子引起裂变反应，可以利用铀资源中99.3%的 ^{238}U ，解决“千年”的核能发展问题；第三步，发展可控聚变堆技术，希望是人类能源终极解决方案，“永远”的解决能源问题。

压水堆是我国核电事业起步阶段的必然选择

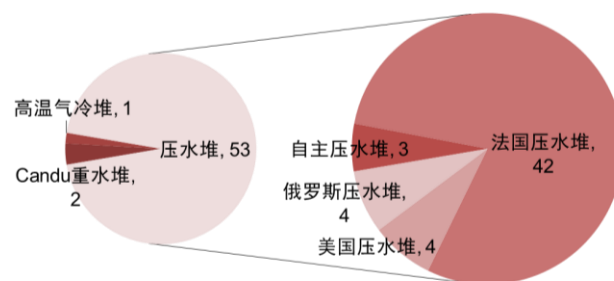
核反应堆是利用链式裂变反应缓慢地、受控制地释放核能的装置。适应于发电的反应堆技术包括轻水堆、沸水堆、重水堆等，其差别在于中子冷却剂和慢化剂不同。压水堆是当今世界商用核反应堆的主力堆型，占全球反应堆总量的65%，另一种以轻水为慢化剂和冷却剂的堆型为沸水堆，占反应堆总量的17%，除压水堆和沸水堆外，小批量商运的反应堆堆型还有重水堆、石墨堆以及仍在探索中的四代堆型。我国目前已建成和在建的56座反应堆中，除秦山三期和石岛湾高温气冷堆外，都为轻水压水堆，合计占比达95%。

图表 1：压水堆是当今世界反应堆的主力型号



资料来源：WNA，东方证券研究所

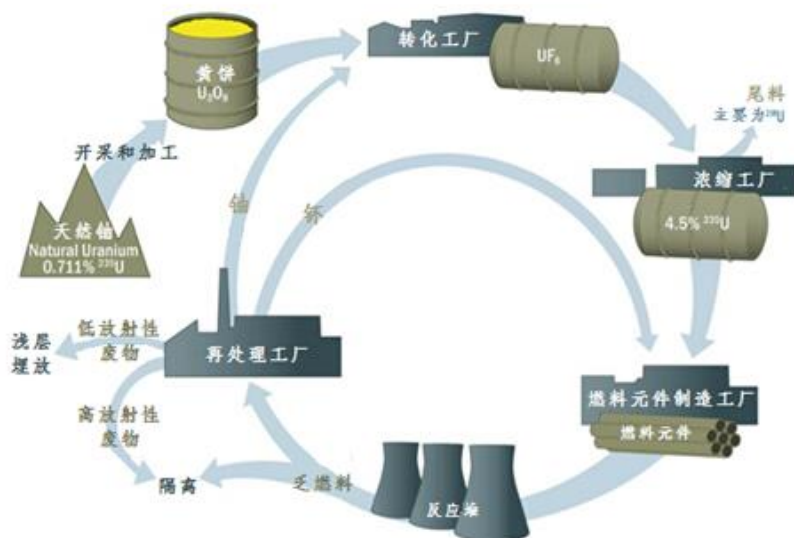
图表 2：我国的核电机组绝大多数为压水堆



资料来源：WNA，东方证券研究所

压水堆之所以能从众多堆型中脱颖而出，在于它具备诸多优势。与其他堆型相比，压水堆核电厂具有功率密度高、结构紧凑、安全易控、技术成熟、造价和发电成本相对较低等特点，因此它是目前国际上最广泛采用的商用核电厂堆型，占轻水堆核电机组总数的3/4。研究压水堆，是核武国家的普遍选择。掌握铀燃料的浓缩技术乃至全套核燃料循环工艺，是发展核武器的必要条件。由于水的热中子吸收截面较大，因而轻水堆不可能使用天然铀作燃料，必须使用富集铀。早在上世纪60年代，中国就已经掌握了从铀矿开采、铀转化、铀浓缩到核武器的核技术路线，到了80年代，中国已经掌握了完整的核燃料循环体系，放眼全世界，联合国其他几个常任理事国及有核国家均将压水堆作为主流核电技术路线，而另一些国家将重水堆作为主要路线就是因为没有掌握核武器技术。从设备需求来看，压水堆需要重型设备加工，重水堆需要精密机械加工，这也符合国内的工业状况。因此，在我国现有的二代加项目和即将规模化兴建的三代核项目中，压水堆是当仁不让的主力。

图表 3：核燃料循环示意图

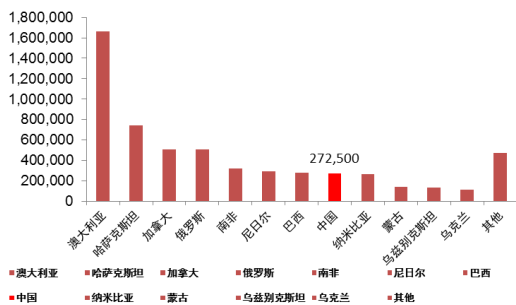


资料来源：百度百科，东方证券研究所

快中子增殖堆是化解核燃料供应和废料难题的重要途径

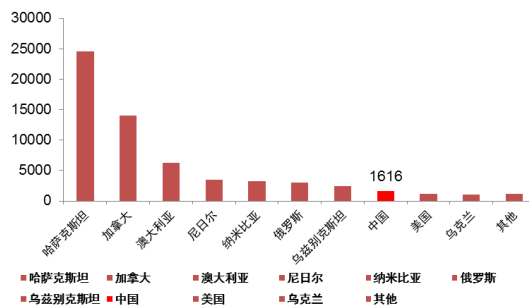
当前我国同时面临铀资源储量不足和乏燃料累积过多的问题。据 WNA 的最新统计，我国的铀矿储量 275000 吨，占全球总储量的 5%，位居全球第 8 位，铀资源储量相对贫乏。由于每台百万千瓦机组一年要消耗 150 吨铀原料，随着新建核电机组的大量投产，到 2020 年我国每年的铀资源需求将达到 7500~8000 吨，而近 5 年来我国的铀资源产量维持在 1500 吨/年左右，国内电站一半以上的铀资源依赖进口。

图表 4：我国铀资源储量相对较少（吨）



资料来源：WNA，东方证券研究所

图表 5：我国的铀开采量难以满足国内电站需求（吨）



资料来源：WNA，东方证券研究所

与此同时，一座典型的 100 万千瓦的核电站，一年消耗的 U₃O₈ 为 230 吨，最后制成 27 吨的 UO₂ 燃料，经过燃烧，最后生成 27 吨乏燃料，其中 240 千克的钚，23 吨的铀，其中 U-235 的浓度为 0.8%，1100 千克的裂变产物。由于乏燃料具有极强的放射性，因此必须经过妥善处理。我国乏燃料管理的政策是实施乏燃料后处理，以实现核燃料闭式循环。然而我国目前的乏燃料处理能力严重不足，每年仅能处理 50 吨，因此大量的乏燃料被暂时储存在电站，从而为电站增加了较多的贮运成本和风险。

图表 6：我国面临巨大的乏燃料贮存和处理压力

年份	当年乏燃料产生量 t	累积乏燃料产生量 t	当年乏燃料离堆量 t	累积乏燃料离堆量 t	当年乏燃料外运量 t	累积乏燃料外运量 t
2015	665	3522	200	600	188	456
2020	1298	8718	319	2023	262	1594
2025	1923	16764	876	5236	819	4522
2030	2637	28285	1605	11559	1503	10560

资料来源：丁怀博，《对我国乏燃料贮运环节的思考和建议》，东方证券研究所

注：

- 1) 按照 2015 年形成 4600 万千瓦装机容量，2020 年建成核电站装机容量约 5800 万千瓦，在建 3000 万千瓦，2030 年在运总装机容量 1.2 亿千瓦计算；
- 2) 乏燃料在核电站内贮存 8 年后外运；
- 3) 不包括秦山三期、三明快堆产生的乏燃料
- 4) 外运量不包括秦山一期、田湾核电产生的乏燃料

解决铀资源供应问题和乏燃料处理问题的关键是开发快中子增殖堆。快中子增殖堆可以将 U-238、U-235 及 Pu-239 全部加以利用，热堆产生的乏燃料恰好可以作为快堆的燃料。基于快堆的核燃料循环系统包括热堆乏燃料后处理、快堆燃料制造、快堆乏燃料后处理、高放废物处理与处置等。在热堆中铀资源利用率不足 1%，而在快堆中铀资源利用率可以提高到 60%以上，理论上可使地球铀资源使用达到千年，从而确保核能的可持续发展。

聚变堆是能源供应的终极手段

自从世界上第一颗氢弹爆炸以来，把聚变能变成像裂变能一样可以控制利用一直是核科学家们梦寐以求的事，与核裂变相比核聚变具有几个突出优点：

- 1) 燃料丰富，聚变反应的主要原料为氘和氚，主要来源于海水中，地球海水中有 45 万吨氘，地球上蕴藏的聚变能为裂变能的 1000 万倍，可以说聚变能取之不竭；
- 2) 燃料成本低廉，1 千克氘的价格为同等质量浓缩铀的 10%，在聚变电站的一次性投资中，燃料费用仅占总投资的 1%；
- 3) 环境污染小，运行安全，聚变反应几乎没有长寿命的放射性核素，氘和氚的聚合只能产生高能中子和 α 粒子，都不具有放射性，这给聚变堆的运行安全和退役带来了很大的方便。聚变堆是次临界堆，反应堆中的氘和氚数量很少，发生聚变反应的条件十分苛刻，任何时空的燃烧都将迅速消耗尽全部燃料，破坏反应条件，故聚变堆不会发生意外失控事故；
- 4) 反应释放能量巨大，不论是聚变反应还是裂变反应，产生的能量都来自核反应前后的质量亏损，一次聚变反应使 4%的物质转化为能量，而一次裂变反应使 1%的物质转化为能量，从质能转换的角度来看聚变反应释放的能量比裂变反应大

正是由于这些，核聚变能成为未来能源技术发展的主要方向之一，也是目前认识到的可以最终解决人类社会能源问题和环境问题，推动人类可持续发展的重要途径之一。我国早在 20 世纪 50 年代

中期就已开始了可控热核聚变的研究，目前积极参与建造的国际热核聚变实验堆(ITER)，预计在 2020 年建成并将运行长达 20 多年的聚变实验堆。

总体来说，我国目前仍处于“三步走”战略的第一阶段，未来一段时期内核电建设仍将以压水堆为主，快堆的研究工作取得了很大进展，预计近年将开工建设快堆示范项目，而聚变堆仍处于研究初期，未来一段时间内也难有较大突破。

从混乱到清晰，二代核电在曲折中发展

中国的核电事业可追溯到 1970 年，在当今核电诸强中，仅晚于美国、俄罗斯（苏联）和英国，与法国、日本同步，早于韩国，真正起步则到了 1983 年秦山核电站开工。经过几十年的探索和追赶，我国从无到有掌握了二代、二代加和目前最先进的三代压水堆技术，并已有 50 余台机组投运或在建，其中绝大多数是二代和二代加项目，核电已成为我国能源供应中的重要组成部分，在部分省份甚至发挥着基石性的作用。

然而作为全球屈指可数的拥有强大战略核能力的国家，中国的民用核能力却大幅落后于同时起步的对手。究其原因，主要在于中国的核电发展在早期即缺少清晰地规划，以致在后来的探索历程中走了很多弯路，挥霍了不少机会，以至中国核电事业发起四十年后，仍旧处于学习和追赶阶段。

堆型选择：十年争论确定压水堆为发展方向

虽然始于 1970 年的 728 工程即拉开了中国核电事业的序幕，但仅仅关于堆型的争论就长达十年之久。核电堆型技术的选择不仅是堆型或机型自身的优缺点和先进性及成熟性问题，而且与铀资源禀赋、相关产业的工业技术基础等国情相关。争论出现的原因主要有两个：一是对不同堆型技术的认识存在差异；二是不同利益集团的出现，使技术问题不再单纯。

由于早期核电管理部门尚未确定，几大有话语权的部门就核电堆型问题争执不下，相关决策久拖不决，核工业部（二机部）主张发展重水堆电厂，但是电力工业部和机械工业部认为压水堆技术更成熟，设备便于实现国产化，还可用于核潜艇，而负责七二八工程的二机部（核工业部）提出的则是熔盐堆发电方案，在其他省份还有八一六石墨堆、八二七重水堆等诸多方案。直到 1983 年 1 月在北京召开的“回龙观会议”上，才统一了意见，受我国当时的综合国力以及认识上的局限，选择了比较容易起步的压水堆核电站技术。

图表 7：我国核电发展中的堆型选择问题

争论问题	问题描述	观点持有方
轻重之争	轻水堆：国际技术较成熟，我国有核潜艇基础	电力部、机械部
	重水堆：适合低品位铀资源，有技术基础	二机部（核工业部）
大小之争	大型电站：适合我国大国国情	电力工业部
	小型电站：适合起步阶段的研发规律和工业基础	核工业部
快慢之争	快堆：适合铀资源不丰富国情，符合未来方向，但不成熟	核工业部
	热堆：有国内外的较成熟的技术基础	电力工业部

资料来源：东方证券研究所整理

管理体制：从姓“核”到姓“电”

中国核工业管理体制变化较大，核电发展政策摇摆不定、走走停停，表面上看有很多原因，但根本原因是国家没有一个稳定的核工业管理体制和持续的核电发展规划。核电的发展投资大、风险大、涉及面广、影响大，离开政府的支持将不可能得到发展。但是，也正因为政府的主导作用和公共管理职能，使核电技术的发展需要科学、正确、强有力的管理。在我国核电发展的进程中，核电管理问题日益突出。图表 9 给出了直接与核电管理相关的主要争论。

图表 8：我国核电发展中的管理问题

争论问题	时期	问题描述
核与电之争	1980s-1990s	核电姓“电”：“电”是目的，核电为民用，应按民品管理；核电姓“核”：核电涉及军工和国家利益，应按军工体制管理
两核集团股权之争	1990s-2000s	中核集团（北）：占中广核 45%股份，不分红，也不参与管理；中广核集团（南）：都是国有产权，以核养核，滚动发展
控股资质之争	2000s 中	扩大核电业主范围：民用技术，允许非核电力企业控股核电；控制核电业主数量：专业性强，技术要求严格，应控制业主数量

资料来源：东方证券研究所整理

最能体现管理问题的是核电主管部门的多次变动。1986-2008 年间，核电主管部门至少经历了 5 次变动，仅有 2 次短时期（不超过 5 年）设置过全局性的能源管理机构，更多的时候是局部性电力管理机构行使全局性能源管理职责，甚至有时没有能源管理机构。核电在 2008 年国家能源局成立前几乎没有纳入过能源管理体制，基本上实行的是国务院、军工性质的专门部委两级专门管理体制。应当说，**2008 年前中国核电姓“核”而不姓“电”**。长期以来的核电与其他电源工业隔离的相对封闭式管理体制，核电建设项目管理、核电安全监管、核电技术研发管理以及核电具体业务管理分属不同机构，导致核电发展长期缺乏全国性的统一规划，难以得到电力系统单位的支持和协同。

图表 9：我国核电主管部门历次变动



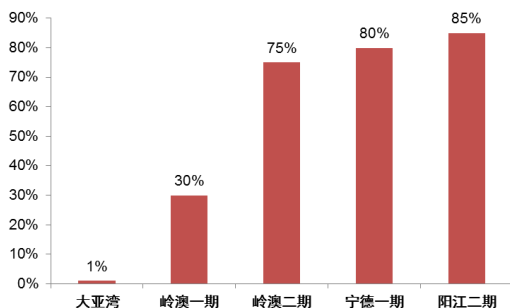
资料来源：东方证券研究所整理

业主格局：从一家独大到三足鼎立

我国目前的核电业主包括三家，即中核集团、中广核集团和国电投集团。起步阶段，核工业部以及后来成立的中核总是国内核电站的业主，1998 年，中核总再度改组，新成立的中核集团继承了中核总的核电站资产，并在日后加大开发力度，成为国内最主要的核电业主之一。另一大业主中广核成立于 1994 年，初衷是通过运营电站获得的收益实现核电的滚动发展，经过二十多年的大力建设，中广核已成为国内最大的核电业主单位。中电投于 2003 年前后以参股的形式进入核电领域，目前旗下的核电站装机容量约占全国总容量的 10%，2014 年与国核技重组形成国电投，具备了较强的

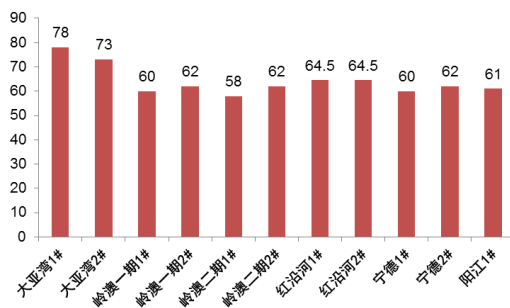
核电实力,成为核电运营环节一支不可小觑的力量。核电技术和核电建设就分别演变为“三国鼎立”局面。

图表 10：中广核 M310 堆型电站国产化率迅速提升



资料来源：黄光晓等《先进核电技术经济性分析》东方证券研究所

图表 11：中广核 M310 堆型建设周期迅速减少



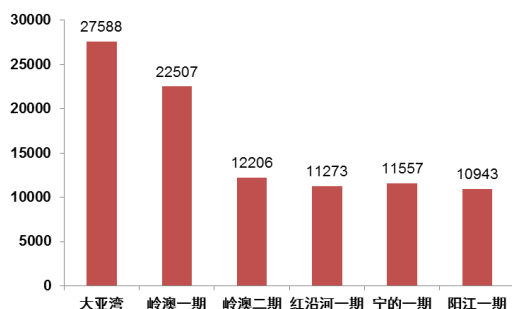
资料来源：康俊杰等，《核电建设周期、成本变化规律分析》，东方证券研究所

三家的角色与发展路径截然不同，也为我国的核电事业的探索积累了更多经验。中核集团不仅是我国最大的核电业主之一，也是我国综合实力最强的核工业集团，承担着较多事关战略安全的任务，具体到核电领域中核并不以盈利最大化为主要目标，而是承接更多堆型增强国家核电实力为主要目标。从秦山核电站至今，中核集团已控股运营 16 台机组，囊括了国产 CNP 系列、加拿大的 Candu 重水堆、俄罗斯 AES 技术、法国 M310 技术以及美国的 AP1000 技术等多种堆型。由于无法通过规模化建设来降低成本，中核的电站比投资相对较高。

中广核的战略任务即是标准化、规模化、系列化建设核电，缓解当地用电紧张的局面，优化能源结构。中广核的电站堆型以 M310 技术为主，不断优化，这种发展战略优势明显（1）国产化率提高，技术能力显著增强（2）建设周期大幅缩减，80 年代核电建设周期打 8~10 年，现在仅需 5 年（3）比投资迅速降低，成本优势明显。中核后来也采用 M310 技术，并基于该技术自主研发出 CPR1000，最终成为华龙一号的主要雏形。

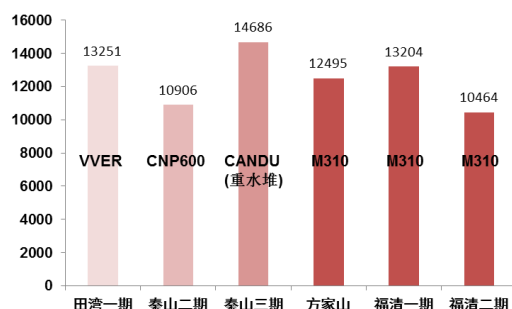
国电投的主要任务是承接 AP1000 的国产化任务，由于起步较晚，国电投在核电领域和另外两大巨头比有较大差距，不过随着 AP1000 依托项目的四台机组逐渐实现并网发电，预计新建的机组中 AP1000 技术将得到推广，作为 AP1000 技术在国内的唯一承接方，国电投有望在下一轮核电建设大潮中迅速成长。此外，国电投基于 AP1000 技术自主研发出 CAP1400 技术，将我国的核电研发能力推到一个新的高度，其首堆示范项目有望在今年开工建设，并且可用于出口。

图表 12：中广核下辖电站比投资统计（元/kW）



资料来源：康俊杰等，《核电建设周期、成本变化规律分析》，东方证券研究所

图表 13：中核下辖电站堆型及比投资统计（元/kW）



资料来源：公司公告，东方证券研究所

二十年探索路径渐明，《中长期纲要》一锤定音

经过二十多年的探索，中国核电发展的战略方向终于确定。2005 年国家出台《核电中长期发展规划（2005-2020）》，指出“在核电发展战略方面，坚持发展百万千瓦级先进压水堆核电技术路线，目前按照热中子反应堆—快中子反应堆—受控核聚变堆“三步走”的步骤开展工作”。

通过国际招标选择合作伙伴，引进新一代百万千瓦压水堆核电站工程的设计和设备制造技术，国内统一组织消化吸收，并再创新，实现自主化，迎头赶上世界压水堆核电站先进水平。“十一五”期间通过两个核电自主化依托工程的建设，全面掌握先进压水堆核电技术，培育国产化能力，力争尽快形成较大规模批量化建设中国品牌核电站的能力。与此同时，为使核电建设不停步，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，仍将自主建设适当规模的压水堆核电站。

福岛核事故之后，2012 年国务院常务会议通过《核电安全规划(2011—2020 年)》和《核电中长期发展规划(2011—2020 年)》，进一步要求“提高准入门槛。按照全球最高安全要求新建核电项目。新建核电机组必须符合三代安全标准”。

经过一系列的体制改革，国家能源局取代国防科工委成为核电领域的主管部门，核电的“核”属性减弱，“电”属性增强，经济性、安全性成为行业发展的核心要素；企业间重组也在大刀阔斧地进行，目前业主环节已呈三足鼎立之势，企业间的良性竞争也为近年来国内核电成本下降做出了积极的贡献。

三代核电：AP1000 与华龙一号的跷跷板游戏

三代初衷：引进技术，弯道超车

2003 年，国家主管部门开始着手部署第三轮核电技术的引进工作，其倡导者提出的主要理由是：国内核电站机型“五花八门”的局面严重干扰了中国核电技术进步和国产化进程，而（自主设计的）秦山二期核电站是参考大亚湾核电站照猫画虎建造的，在事故预防缓解措施以及防火设计等方面与国际上新的核安全标准还存在差距，已丧失了作为“主力机型”的条件。因此，中国核电必须“采用先进技术，统一技术路线”，直接引进国外最先进的第三代核电站技术走一步跨越”的新路。这个方针的具体实施方案是通过国际招标，在国际三代核电机型中选定一种作为中国核电技术的发

展方向；先建设 4 台招标引进的机组作为“国产化”（后改称“自主化”）依托项目在 2010 年之前开始实行这种引进机型的批量建设，并于 2020 年达到 400 万千瓦的目标；其中除了中国已有的 11 台机组 870 万千瓦，均为引进机型，国内已掌握技术但属于落后的机型不再建设。

计划中的 AP1000 与计划外的华龙一号

三代技术体系构建始末

2006 年，经过长达 3 年的招标、评标等过程，美国西屋公司的 AP1000 技术战胜法国阿海珐公司的 EPR 技术而中标中国三代核项目。紧接着，国务院决定成立国核技，以承接并吸收 AP1000 的全部技术。根据协议，中方在 AP1000 基础上研发改进的高于 135 万 kW 的大功率机组具备完全自主产权，于是 CAP1400 应运而生。

与传统的压水堆相比，AP1000 在设备数量及安全性等方面均有较大幅度的提高，尤其是创造性地使用了非能动安全系统，大大提高了核电站的安全性，同时造价要比二代核电站高出不少。公开资料显示，AP1000 的国内示范堆三门 1 号和 2 号机组的预算总额达 410 亿元，比投资 16000 元/kW，比国内的二代加项目（比投资 13000 元/kW 左右）高出 25%以上。

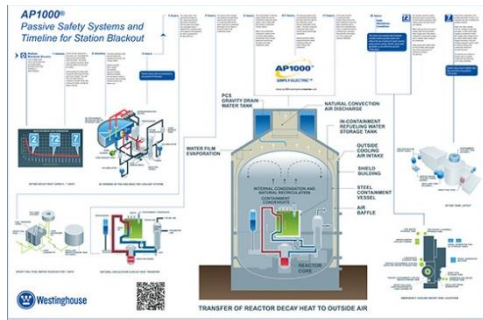
AP1000 的首堆示范项目—三门核电站一期工程于 2009 年 4 月正式开工建设，原计划于 2013 年 8 月并网发电，然而由于主泵屏蔽泵的技术难题迟迟未能攻克，导致项目工期一再拖延，迄今为止已延宕 48 个月之久，由此也导致基于 AP1000 技术的具备自主知识产权的 CAP1400 技术迟迟不能落地。与此同时，我国在 2014 年前后开始推动高端装备出口，高铁和核电是两项主要的出口品牌，面对核电出口无牌可打的窘境，**能源局决定将中核与中广核分别自主研发的三代技术融合，推出中国的三代技术——“华龙一号”，并于 2015 年陆续开始建设示范堆项目。**

中核福清 5 号“华龙一号”示范堆机组于 2015 年 5 月 FCD，目前进展顺利，2017 年 5 月 24 日完成了核岛穹顶吊装，比预期提前了 15 天，打破了核电首堆必拖的怪圈。2015 年 4 月，中核与巴基斯坦签署 5 座“华龙一号”核电机组出口协议，8 月 20 日，巴基斯坦卡拉奇 K2、K3 核电项目动工，成为海外首个在建的华龙一号项目，同年 11 月，中核与阿根廷签署“华龙一号”合作协议。

中广核的防城港 3 号“华龙一号”示范堆机组也于 2015 年 12 月 FCD，同时将“华龙一号”出口的第一站锁定在英国，2016 年 9 月中英两国合作项目欣克利角 C 核电项目通过审查，标志着中广核的“华龙一号”正式出海，目前还在积极推动英国的 Bradwell B 项目，该项目以防城港 3、4 号为参考项目。

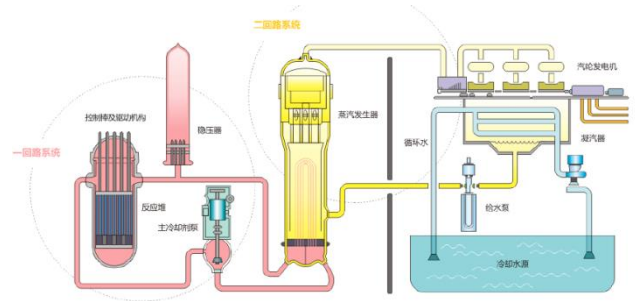
目前由于三门核电迟迟未能发电，中核与中广核两家对 AP1000 渐渐失去了耐心，对华龙一号的定位也从最初的用于出口转变为呼吁在国内规模化建设。中核与中广核纷纷大力推广“华龙一号”，这让国电投的 AP1000 处于一个尴尬的境地，我们认为，两大核电巨头未来会进一步力推华龙一号技术的上马，而鉴于战略技术储备和高昂的引进成本，AP1000 仍然能保住其主力机型的地位，但一统天下的局面将不复存在，原本独享的份额也不得不出让一部分。

图表 14：AP1000 堆型示意图



资料来源：国核技网站，东方证券研究所

图表 15：华龙一号堆型示意图



资料来源：网络资料，东方证券研究所

对于国核技而言，除了跟进 AP1000 依托项目，其眼下最主要的任务是推动 CAP1400 项目落地，布局该技术的发展蓝图。**CAP1400 型压水堆核电机组**，指的是在消化、吸收、全面掌握我国引进的第三代先进核电 AP1000 非能动技术的基础上，通过再创新开发出的具有我国自主知识产权、功率更大的非能动大型先进压水堆核电机组。

CAP1400 较目前二代核电的经济性主要体现在性能参数和建造成本上。CAP1400 采用大机组设计，机组容量达到 1500MWe，规模效应明显，具有更优的经济性；设计使用寿命为 60 年，较二代核电增加 20 年寿命；能量转换效率大于 37%（示范工程），可利用率大于 93%；非计划停堆频率 $\leq 1/\text{堆年}$ 。

目前，山东荣成 CAP1400 示范堆已经着手开工，预计 2017 年下半年将进行核准，2017 年 3 月 17 日，由中国第一重型机械集团公司承制的重大专项 CAP1400 示范工程 1 号机组反应堆压力容器水压试验顺利完成，这标志着 CAP1400 设备国产化已经起航，至于后续该项目能否顺利进行，还需要时间验证。

图表 16：AP1000、华龙一号以及 CAP1400 示范项目进展情况

	知识产权	首堆开工	预计并网	进展情况
AP1000	引进	2009.12	2014	预计 2017 年年内并网，超期约 48 个月
华龙一号	自主研发	2015.12	2020.07	完成穹顶吊装，比预计工期提前 15 天
CAP1400	自主研发	尚未开工	未知	预计 2017 年年内示范堆核准开工

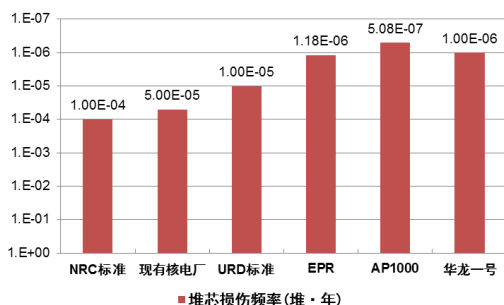
资料来源：东方证券研究所整理

安全性与经济性等核心指标不相上下

安全性方面，美国原子能研究委员会（NRC）对反应堆堆芯损伤频率（CDF）的要求是 1×10^{-4} 堆年，美国核电用户要求文件（URD）为 1×10^{-5} 堆年，目前的在役核电厂大约为 5×10^{-5} 堆年，**AP1000 的 CDF 为 5.08×10^{-7} 堆年，华龙一号的 CDF 值低于 1×10^{-6} 堆年**，均远远上述可参考值；NRC 对大量放射性释放频率（LRF）要求的目标值为 1×10^{-6} 堆年（运行电厂允许 1×10^{-5} 堆年），

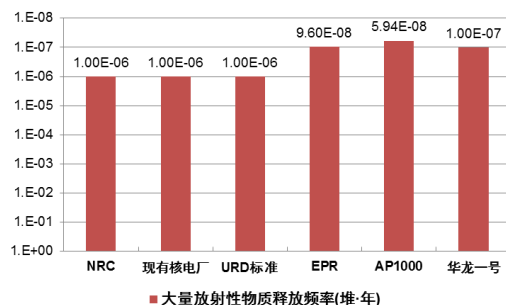
URD 为 1×10^{-6} 堆年，在役核电厂为 1×10^{-6} 堆年~ 9×10^{-6} 堆年，**AP1000 的 LRF 为 5.94×10^{-8} 堆年**，华龙一号的 LRF 低于 1×10^{-7} 堆年，同样大幅低于可参考值。

图表 17:AP1000 与华龙一号 CDF 指标高出行业标准 2 个数量级



资料来源：WESTINGHOUSE，中核集团，东方证券研究所

图表 18:AP1000 与华龙一号 LRF 指标高出行业标准 1 个数量级



资料来源：WESTINGHOUSE，中核集团，东方证券研究所

此外，两种机型设计基准地震地面水平加速度均达到 0.3 g。AP1000 采用非能动安全系统后，事故工况下 72 小时内操纵员可不采取任何手动动作，72h 后也仅需少量的厂外援助。这大大减少了人因错误，而这种错误是造成核电厂事故的重要原因。华龙一号采用 177 组 12 英尺燃料组件，配备实体隔离的三个安全系列，采用了能动与非能动结合的安全措施，大幅度提高了应对内外部灾害的能力，事故工况下 30 分钟内操纵员可不采取任何手动动作，经优化后不干预时间也可延长至 72 小时。**从安全性角度衡量，两种机型难分优劣。**

经济性方面，由于在安全性方面增加了大量额外成本，AP1000 和华龙一号的比投资均要高于二代及二代加的核技术，但未来有较大的下降空间。根据中国核电在建项目的信息比较，AP1000 的首堆项目三门 1 期总投资 408 亿元，由于进度一再拖延目前总投资已达 440 亿元以上，比投资 17600 元/kW，华龙一号的首堆项目福清 3 期总投资 377 亿元，比投资 16400 元/kW，目前进展良好，其他在建的二代项目比投资约 13000 元/kW。

华龙一号的设计立足于我国已有核电工业基础，设备制造、工程建设、生产运营都具有成熟的经验可以借鉴。特别是设备制造方面，国内完全具备相应的供货能力和设备产能。据测算，**华龙一号首两台机组国产化率将超过 85%，基础造价比投资每千瓦低于 2500 美元，与国际上在建的其他三代核电机组相比有相当的竞争力**，实现系列化以后设备国产化率可高于 95%，成本进一步下降空间巨大。

AP1000 的非能动理念使专设安全系统简化，安全支持系统以及安全及设备和抗震厂房减少，1E 级应急柴油机系统和很多能动设备被取消，大宗材料需求明显降低。AP1000 专设安全系统及其设备数量减少的幅度很大，**阀门、管道、电缆、泵、抗震厂房容积分别减少了 50%、80%、70%、35%和 45%**。再加上设计和建造采用模块化技术，以及与此密切相关的设计简化、配置简化、工艺简化、施工量减少、工期缩短以及运行方便、维修简单等一系列优点，从长远观点看，AP1000 不仅使安全性能得到显著提高，而且建造和长期运行费用也将明显降低，在经济上具有较强的竞争潜力。

从经济性角度衡量，华龙一号胜在工业基础好，短期成本优势明显，AP1000 则胜在理念更超前，成本下降潜力大。

多重因素决定两种技术将并行发展

大量的引进成本。中方在与西屋签订的合同中，付出了近 5 亿美元的代价获得了重达 20 吨的 AP1000 技术资料 and 260 个软件包，三门与海阳的依托项目更是耗资近千亿，如此巨大的引进成本几乎决定了 AP1000 不可能被放弃。

复杂的利益格局。AP1000 目前仅有国电投在勉力支撑，随着华龙一号示范项目的稳步推进，中核与广核大量上马华龙一号机组的意愿日益增强，早期一主一副的论调早已抛诸脑后。作为国内最主要的两大核电业主，尽管 AP1000 仍有国家政策扶持，但两大巨头对华龙一号的力推仍将在很大程度上改写先前制定的技术路线。**在当前格局下，AP1000 与华龙一号大概率维持齐头并进的态势。**

战略安全角度，多一项技术储备更有利于战略安全。两机型之间的关系不应该是被业界误读的水火不容的关系，而应该是互为补充，共同发展。如果说两者今后面临竞争，应该说是建设和运营期间经济性和安全性的竞争，是良性市场竞争，应该得到鼓励。

“统一堆型，多种机型”是降低三代核电成本的必然选择。“统一堆型”是为了提高核电的安全性和整个行业的经济性。因为堆型不同，所采用的燃料和反应堆设计等不一致，会造成反应堆研发、设计、建造、运行、后处理（处置）及安全监管等均存在较大差异，从而给整个行业的安全保障造成更大的难度，也会导致核电基础设施要求更多、投入更大，人员培训更难，最终也会极大地影响整个行业的经济性。简而言之，“统一堆型”有利于核安全和核工业体系产业链的“精干”，也是美国和俄罗斯等核电先驱国家当初多堆型搞核电建设后得出的宝贵经验教训。

“多种机型”是在“统一堆型”的前提下，随着技术进步和安全要求的提高，阶段性地引入重要设计改进，形成技术不断进步的不同机型，同一机型宜批量建造 6~10 台机组左右，这样可以确保行业效益的最大化。我国核电和世界核电发展的长期规划容量空间巨大，可以容纳多种机型。采用“统一堆型，多种机型”的发展思路，可以更好地推动核电技术创新发展，阶段性地开发新的核电机型，不断提高核电机型性能，确保安全高效发展核电。

利益相关方的博弈决定了核工业演变走势

从目前来看，国内规模化建设与核电走出去共同支撑起中国核工业的发展空间，AP 系列与华龙系列则构成了中国核电建设的主要技术体系，这两种堆型的消长也是未来一段时期内核电行业的重要看点。

AP 系列手握先发优势，而且技术上确实领先。早在 2006 年，AP1000 即被确定为三代核电技术的主力堆型，并于 2009 年开始了首堆的建设。技术上，AP 系列创造性地采用非能动安全系统，使得同期的其他三代技术相形见绌。然而，三门首堆的一再拖期给了华龙一号机会，设计上的种种先进理念迄今也未经检验，一定程度上消减了技术的说服力。

华龙系列则有更为深厚的背景。无论是头号央企中核集团，还是国内首屈一指的核电业主中广核，在核工业系统的话语权都远大于以传统电力为主的国电投集团。尽管 AP 系列具有诸多优势，但两大核电巨头的力推，使得华龙一号展现出猛烈的上升势头。自首堆开始建设以来，在多方努力下，华龙一号的建设进度比 AP1000 顺利的多，也进一步增强了中核与中广核力推华龙一号在国内批量化建设的决心。

因此，虽然两种机型都不会被废弃，但未来一段时期内 AP1000 与华龙一号的消长将取决于堆型背后的利益相关方。从目前形势看，AP1000 在早期的规划中一直作为三代核电建设的唯一选项，

但中核与中广核的巨大影响力将为华龙一号赢得空间，至于这个空间的体量有多大则取决于各利益相关方的博弈。

潜在的多业主格局为竞争前景增添变数

核电运营方面，当前中核、中广核、国电投三足鼎立的局面也存在变数。2016 年出台的《核电管理条例（送审稿）》规定，“国家对核电项目控股股东或者实际控制人实行准入制度，……持有其他核电项目 25%以上股份，并具有作为参股股东至少 8 年的参与核电项目建设、运行的经验，其中至少包括 1 个机组的完整建设周期及其 3 年运行的经验”的国企即可成为核电控股股东或实际控制人。

近年来华能、大唐和国电集团已经着手参股核电站，华能更成功控股石岛湾高温气冷堆示范工程，成为第四家核电业主。**传统电力集团进入核电运营的主要手段是控制厂址资源**，由于核电厂址是稀缺资源，可谓是“得厂址者得天下”，尽管其他业主短期内仍然难以实现控股核电项目，但仍可借助在手厂址与三大业主合作，并寻求更多股权。大唐集团在这方面的运作尤其突出，大唐目前在手的集团公司核电前期项目共有 11 个，工作较为深入的有 8 个，有 4 个厂址（辽宁庄河、广东阳西、湖南龙门、江西峡江）作为重点论证厂址进入了国家核电中长期发展规划，并已采用厂址换项目的方式高份额参股了宁德和徐大堡等核电项目。

图表 19：传统电力集团积极参股核电并持有较多储备厂址

	已参股项目	储备厂址
华能集团	高温气冷堆示范工程 (47.5%)、海南昌江 (5%)、山东海阳 (5%)、CAP1400 示范工程	福建霞浦
大唐集团	宁德二期 (45%)、徐大堡 (28%)、三门 (5%)、陆丰 (9%)、广西白龙 (12%)	4 个重点厂址：辽宁庄河、广东阳西、湖南龙门、江西峡江；11 个前期项目，包括湖北钟祥船湾厂址、浙江宁波金七门厂址、温州苍南霞关厂址等
国电集团	漳州	马鞍山

资料来源：中国核能年鉴，东方证券研究所整理

华能集团除了控股高温气冷堆示范工程、参股海阳、昌江和 CAP1400 示范项目之外，还控股投资霞浦核电站，该电站将建设 1 台高温气冷堆机组、1 台快中子增殖堆机组和 4 台百万千瓦级压水堆机组，华能集团也将藉此成第四大核电运营商。大唐集团则凭借大比例参股宁德核电二期工程，事实上成为第五个核电业主，核电运营将由三足鼎立演变为“五强相争”的格局。

与三大核巨头相比，华能与大唐在核电领域的技术积累堪称薄弱，无论是堆型设计、建造施工能力乃至运营能力方面都极为欠缺，在这种情况下，**新的业主可能倾向于采用总承包模式开展项目，三大集团作为总包方竞争项目的建设业务**。中核集团作为国内最强的核工业集团，不仅具备多种堆型的设计、建设能力，与中核建重组之后又几乎垄断了国内的核岛施工资质，在多业主格局下无疑更具竞争力，中广核和国电投目前仍在加速发展自身的建安能力，试图缩小与中核的差距。考虑到三大集团主打的堆型截然不同，多业主的格局也将在一定程度上影响到三代核技术在国内的应用情况。

三代技术的选择对装备企业影响不一

堆型的变化往下游看事关三大核业主间的利益博弈，往上游看对整个核工业体系的演变都将产生巨大的影响。虽然同为压水堆技术，华龙一号与 AP 系列在装备需求方面却有较大的差异。从目前的招标结果看，两种技术在压力容器、蒸汽发生器等通用设备方面共享设备商，而在主管道等方面供应商差异较大，阀门等设备还与业主单位有关系。

图表 20：AP1000 首堆与华龙一号首堆装备供应商存在一定差异

	AP1000				华龙一号			
堆型	三门-1	三门-2	海阳-1	海阳-2	福清-5	福清-6	防城港-1	防城港-2
蒸汽发生器	斗山	上海电气	斗山	上海电气	东方电气	东方电气	东方电气	东方电气
主泵	CW-EMD	CW-EMD	CW-EMD	哈动力/沈鼓	哈尔滨电气	哈尔滨电气	东方电气	东方电气
压力容器	斗山	中国一重	斗山	上海电气	中国一重	中国一重	中国一重	中国一重
驱动棒	Newington	上海电气	Newington	上海电气	上海电气	上海电气	上海电气	上海电气
堆内构件	斗山	上海电气	Newington	上海电气	上海电气	上海电气	上海电气	上海电气
稳压器	上海电气	东方电气	上海电气	东方电气	西核	西核	NA	NA
安注箱	上海电气	上海电气	上海电气	上海电气	西核	西核	NA	NA
硼注箱	NA	NA	NA	NA	西核	西核	NA	NA
主管道	渤海重工	二重德阳	二重德阳	渤海重工	台海核电	台海核电	台海核电	台海核电
汽轮发电机	哈动力/MHI	哈动力/MHI	哈动力/MHI	哈动力/MHI	东方电气	东方电气	NA	NA

资料来源：CNKI，北极星，东方证券研究所整理

我们对当前的三种三代技术设备成本进行拆分，并统计计算了各大分项设备的投资及其占比，安全壳、蒸发器等核岛设备是核电设备中价值量最大的部分。堆型的变化对于相关设备商的收入有非常明显的影响，其中对于通用设备公司的业绩影响较小，但部分专业设备公司业绩影响很大，其中东方电气、台海核电在华龙一号中的受益程度明显更好，而上海电气、哈尔滨电气则受益于 AP1000 份额的提升。

图表 21：三代机组设备投资拆分

堆型		华龙一号	AP1000	CAP1400
单台机组总投资（百万元）		16000	20000	21100
设备投资占比/%		50%	50%	50%
	投资占比	分设备投资（百万元）		
核岛设备投资占比	23%	3680	4600	4853
压力容器	9%	331.2	414	436.77
安全壳	25%	920	1150	1213.25
管道	7%	257.6	322	339.71
蒸发器	19%	699.2	874	922.07

核级阀门	12%	441.6	552	582.36
主泵	8%	294.4	368	388.24
堆内构件及控制棒驱动机构	10%	368	460	485.3
硼注箱+安注箱	2%	73.6	92	97.06
稳压器	2%	73.6	92	97.06
核级线缆	3%	110.4	138	145.59
燃料传送机构	3%	110.4	138	145.59
常规岛设备投资占比	15%	2400	3000	3165
汽轮机	24%	576	720	759.6
发电机	18%	432	540	569.7
汽水分离再热器	12%	288	360	379.8
泵、阀、管道、冷凝器	40%	960	1200	1266
其他	6%	144	180	189.9
辅助设施	12%	1920	2400	2532

资料来源：东方证券研究所整理

四代核电：开启核电发展第二纪元

正当中国核电缓慢重启之时，全球范围内核电的“第一纪元”却走入尾声，其主要原因是轻水堆无法根除的堆芯熔化风险。欧美等国在长达 30 年的时间里核电发展陷入停滞，甚至面临被抛弃而退出历史舞台的前景。尽管三代核技术大幅降低了堆芯熔化的概率，但仍无法将核技术的安全性由“概率安全”提升至“固有安全”，因此在发达国家核电的发展前景颇为黯淡，福岛核事故之后甚至兴起了核电关停的浪潮。与此同时，全球关于具备“固有安全”特性的第四代核技术的研究却开展的如火如荼，并计划于 2030 年建成商运的第四代核能系统，将核电事业带入“第二纪元”。

四代核电技术概览

根据第四代核能系统国际论坛（GIF）的定义，所谓第四代核能系统，必须具有四个重要的特征：核能的可持续利用——通过对核燃料的有效利用，实现提供持续生产能源的手段、实现核废物量的最少化；经济性——发电成本优于其他能源，资金的风险水平能与其他能源相比；安全与可靠性——大幅度降低堆芯损伤的概率及程度，并具有快速恢复反应堆运行的能力，取消在厂址外采取应急措施的必要性；防扩散与实物保护——保证难以用于核武器或被盗窃。

目前国际上公认的 6 种有前途的第四代核反应堆作为重点研发对象，包括 3 种快中子堆——钠冷快堆(SFR)、铅冷快堆(LFR)和气冷快堆(GFR)，以及 3 种热中子堆——超临界水冷堆(SCWR)、超高温气冷堆(VHTR)和熔盐堆(MSR)。这些设计的目的是要达到大幅减少核废料、更充分利用铀资源、降低核电站建造和运营成本、防止放射性物质外泄的目的。

中国四代核技术发展现状

我国以超高温气冷堆和钠冷快堆为主要研究方向。超高温气冷堆发电效率高，余热产量小，由于以气代水作为冷却剂，有利于在内陆设厂。钠冷快堆的特点则实现了核燃料与反应产物之间的循环运转，而且核燃料的再生速度比消耗速度更快，相当于越用越多，大大提升了铀的利用率，还能减少高放射性废物的产量。

高温气冷堆示范项目即将投运

高温气冷堆（HTGR）采用低浓铀或高浓铀加钍作核燃料，石墨作为慢化剂，氦气作为冷却剂，全陶瓷型包覆颗粒燃料元件，堆芯出口氦气温度可达到 950℃ 甚至更高。反应堆燃料装量少，转换比高，燃耗深，在利用核燃料上是一种较好的堆型。

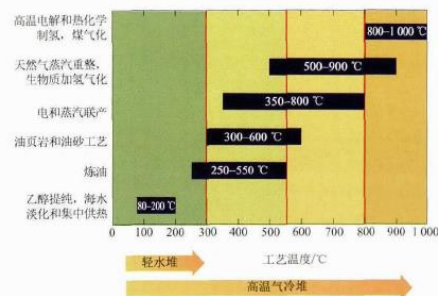
高温气冷堆充分利用高性能的燃料元件，和大的负温度系数，实现了反应堆的固有安全特性，**排除了严重放射性事故发生的可能**；其简化的系统、模块化的建造过程、较高的发电效率和可连续装料的操作使得高温气冷堆**具备较好的经济性，甚至可以和传统火电竞争**；高温气冷堆氦气冷却剂的出口温度可以高达 950℃，除了可以用于高效发电以外，还可以提供高温工艺热，**具备极好的宽用性**。

图表 22：高温气冷堆结构示意图



资料来源：贤集网，东方证券研究所

图表 23：高温气冷堆应用领域十分广泛



资料来源：高立本等《高温气冷堆核电技术产业化思考》，东方证券研究所

在我国，由清华大学核能设计研究院设计、建造的国家 863 计划项目“10 兆瓦高温实验堆”，2003 年 1 月实现并网发电，2009 年 12 月实现 72 小时连续满功率运行，成为世界上首座投入运行的模块式球床高温气冷实验堆。

华能山东石岛湾核电是我国目前正在建的全球首座高温气冷堆，**2012 年 12 月正式获得核准并开工建设**，由中国核建、华能集团和清华大学各出资 32.5%、47.5%、20%联合建设运营。石岛湾高温气冷堆示范工程以清华大学 10 兆瓦高温气冷实验堆为基础，具有自主知识产权，95%以上的设备已实现国产化，反应堆热功率 500 MW，核电站电功率 212 MW，主蒸汽温度 566℃，主蒸汽压力 13.25 MPa 发电效率可达 40%~47%，未来采用氦气直接循环方式可达 50%。

尽管高温气冷堆的商用前景光明，但目前仍然存在一些技术问题有待检验，包括**高燃耗的颗粒核燃料元件的制造和辐射考验以及高温高压氦气回路设备的工艺技术问题**。此外，高温气冷堆相对传统轻水堆在原理上虽然具备优势，但实际的情况仍然有待检验。**从安全性上讲**，轻水堆已积累了上万堆年的机组运行经验，而高温气冷堆才刚刚开始示范，除固有安全性外，**实际运行过程中的可靠性**

和安全性还需要长期验证。从经济性上讲，由于高温气冷堆堆芯功率密度低，单堆占地面积大，而提升功率与堆芯功率密度低与固有安全性存在矛盾。且高温气冷堆的燃料制造、回收和各种设备的制造与传统核电产业没有传承，要新建体系，因此在实现规模化之前与传统核电机组比经济性优势并不明显。

图表 24：与压水堆相比，高温气冷堆结构简化、安全性高

	压水堆	高温气冷堆
反应性控制	控制棒；硼浓度调节；可燃毒物	控制棒
压力调节	稳压器	氦气的吞吐
余热排除	能动	非能动
应急给水系统	有	无
安全注入系统	有	无
安全壳	气密性，双层壳；喷淋，堆熔捕集；防氢爆，底板熔穿设防	不承全压，无气密性要求的包容体

资料来源：吴宗鑫，张作义，《世界核电发展趋势与高温气冷堆》，东方证券研究所

因此，在现阶段，高温气冷堆还不宜与沸水堆、压水堆等成熟核电堆型开展直接的商业竞争。高温气冷堆和超高温气冷堆目前最好的发展方向之一是与核电反应堆实现差异化竞争，进军需要高温工艺热源的工业领域。

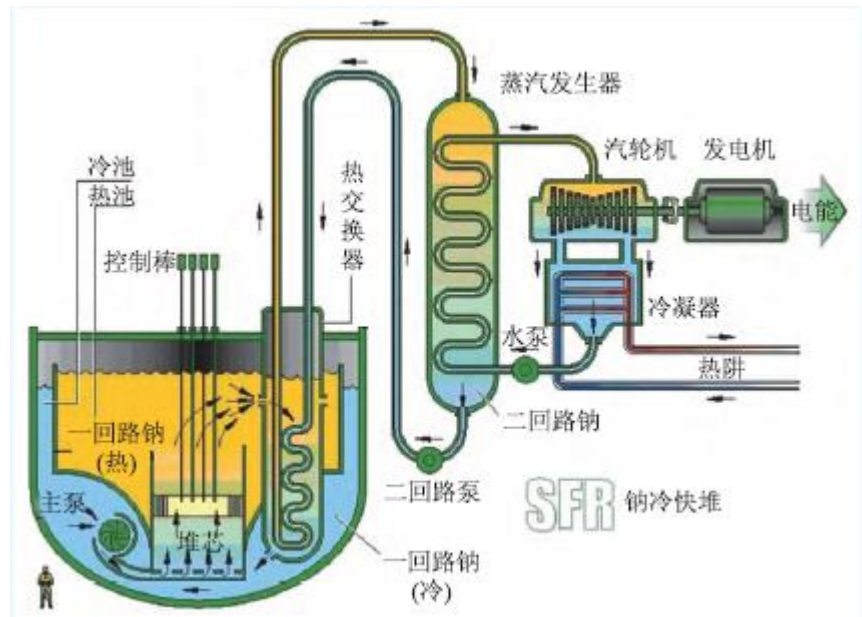
快中子增殖堆从实验阶段步入示范阶段

快中子反应堆是由快中子产生链式裂变反应的反应堆，简称快堆。快堆中没有慢化剂，迄今建成的快堆全部使用液态钠作冷却剂，故又称钠冷快堆。钠冷快堆是当今唯一现实的核燃料增殖的堆型。由于燃料得到增殖，所以快堆全称为快中子增殖堆。

快堆有两大显著优势：一是可以将天然铀中占 99.3% 的 U-238 转换成易裂变核素 Pu-239，大幅提高资源利用率，与传统的压水堆核电站相比，快堆的突出特点是转换率大于 1，真正做到核燃料越烧越多，快堆的乏燃料经后处理，钚返回堆内再燃烧，多余的钚则装载新的快堆。如此封闭并无限次循环对铀资源的利用率可从单发展压水堆的 1% 左右提高到 60~70%；二是可以将压水堆产生的长寿命废物嬗变掉，使得长寿命放射性废物对环境的影响从百万年量级降低到几百年，同时需要最终处置的废物量大大减少。一座快堆可以支持 5-10 座同功率压水堆产生的长寿命废物的嬗变。按照我国核能发展“压水堆—快堆—聚变堆”三步走战略，我国的核能发展，继二代、二代加及三代核电技术之后，以快堆为代表的第四代核电技术将承担起核能发展的重任。压水堆、快堆与后处理厂匹配发展，形成核燃料闭式循环体系，可以充分利用铀资源，并实现核废物的最小化，从而保证核裂变能的大规模可持续发展。

中国在 20 世纪 60 年代中期就开始了钠冷快堆技术的研究，先后完成了基础技术研究、应用技术研究和实验快堆工程技术研究三个阶段。2010 年中核集团下属的中国原子能科学研究院建成了我国第一座钠冷快堆——中国实验快堆(China Experimental Fast Reactor, CEFR)并达到首次临界，2011 年实现了 40% 功率并网发电 24 小时的既定工程目标。在完成数十项功率阶段试验研究后，于 2014 年底实现了 100% 功率运行 72 小时的工程设计目标。

图表 25：钠冷快堆原理示意图



资料来源：何桂润等，《钠冷快堆发展综述》，东方证券研究所

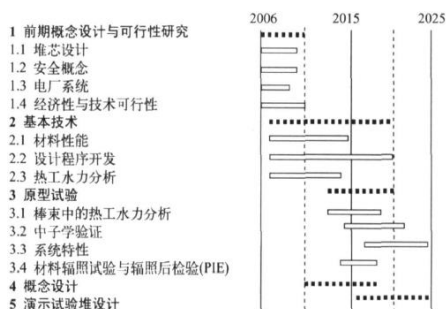
在中国实验快堆设计、建造和试运行经验的基础上，我国快堆工程技术的发展进入了第二步，正在开展中国示范快堆 CFR600 (1500 MWt, 600MWe) 研发，计划 2017 年下半年核准，2023 年建成，实现工业示范，验证经济性，形成快堆标准规范，积累快堆电站经验。快堆工程技术发展第三步是电功率 1000MWe 大型高增殖商用快堆 CFR1000，要求经济性具有竞争性，技术上可采用 MOX 燃料、也可采用金属燃料，满足大规模建造的需求，预计商用快堆将于 2035 年实现商业推广，大规模增殖核燃料，作为主力电站规模化发展。

其他技术仍处于研究早期

2006 年 4 月，由上海交通大学核科学与工程学院牵头，联合国内 7 家大学和研究院成立了“中国超临界水冷堆技术工作组”，积极开展超临界水冷堆的研发工作。在材料方面，中国核动力研究设计院已开展了超临界工况下水化学与金属腐蚀机理研究，其实验回路正在建设中；在堆芯设计方面，上海交通大学核科学与工程学院在评估现有堆芯组件的同时，积极开发新型组件，并在热工与核物理耦合的基础上进行组件参数的优化设计，提出自己的设计理念。2013 年年底，中国核动力研究设计院承担的“超临界水冷堆技术研发（第一阶段）”项目已通过了国防科工局的验收，项目提出了超临界水冷堆的总体技术路线。中广核旗下的中科华核电技术研究院也参与其中。

2011 年，中国科学院启动了“未来先进核裂变能”战略性先导科技专项，钍基熔盐堆核能系统 (Thorium Molten Salt Reactor, TMSR) 作为其两大部署内容之一，计划用 20 年左右的时间，致力于研发第四代先进裂变反应堆核能系统，实现核燃料多元化、防止核扩散和核废料最小化等战略目标。

图表 26：中国超临界水冷堆路线图



资料来源：程旭等，《超临界水冷堆国内外研发现状与趋势》，东方证券研究所

图表 27：钍基熔盐堆技术路线和阶段目标



资料来源：蔡翔舟等，《钍基熔盐堆核能系统》，东方证券研究所

两核重组后中核集团四代核技术储备一骑绝尘

到目前为止，涉足四代核技术的大型央企包括中核集团、中国核建集团和华能集团，其中中核集团独掌快堆技术，中国核建和华能合作研发高温气冷堆，且高温气冷堆的核心技术还掌握在清华大学手里。另外两大核工业集团则进度缓慢，中广核集团在 2016 年同中核建签署《高温气冷堆核电项目合作协议》，明确了由中核建控股、中广核参股设立国内及国外高温气冷堆项目公司等事宜，推动高温气冷堆立足国内、走向海外，另外在超临界水冷堆技术上有所投入。国电投则仍在忙于 CAP1400 技术的研究推进，无暇顾及四代技术。

图表 28：我国四代堆技术信息汇总

	高温气冷堆	快堆	熔盐堆	超临界水冷堆
研究单位	清华大学、中核建集团、华能集团	中国核动力研究院	中科院上海应用物理研究所	中国核动力研究设计院、中科华核电技术研究院、上海交通大学
所属集团	中核建集团、华能集团	中核集团	中科院	中广核集团、中核集团
研发进度	示范堆即将投运	实验堆在运行，示范堆即将开工	实验室	实验室

资料来源：东方证券研究所整理

2017 年 3 月，中核与中核建宣布重组，四代核技术归于中核一家，中广核的四代核电规划则落入尴尬境地，中核集团在四代技术的储备让其他各家难望其项背。

未来展望：严守三步走战略，综合考虑各方博弈

定位：当前的核技术现状仍处于核电第一纪元，三代压水堆是核电发展的主要力量，也是未来一段时期内核工业的主题。三代堆型的规模化建设将大幅度提升核电在能源系统的地位，相关产业将迎来新一轮快速发展期。尽管存在诸多的话题争论和利益纠葛，核电规模化建设的脚步不会停止，变数来自利益相关方的博弈以及核工业系统乃至整个电力系统如何整合。

目标：要建成完整的核燃料循环，快堆必须发展。实现核燃料循环的闭环是三步走战略第二阶段的主要目标，快中子增殖堆是实现该目标最关键的环节，闭式核燃料循环的建成将进一步推高核电建设规模，因此快堆的进展对于未来核电发展的节奏有极为重要的影响。

其他四代堆型包括高温气冷堆都是核技术体系的补充，能否建成一定规模取决于三方面的推动因素：一是利益相关方的极力推动，目前仅有高温气冷堆获得了华能集团的大力支持，近期有望开工第二台示范堆；**二是确定的成本优势**，尽管四代技术前景诱人，但由于要重新配套整个工业体系，导致大家对成本忧心忡忡，从而在一定程度上阻碍了其发展进程；**三是有特殊用途的堆型**，如用于高温人员或者采油等用途。

投资建议

未来一段时期内核工业的主旋律是三代压水堆的批量化建设。由于 AP1000 和华龙一号示范项目迥异的推进情况，原本 AP1000 一统江山的局面必将发生变动，在 AP1000 与华龙一号在主要技术指标难分高下的情况下，两种堆型所有者之间的博弈将决定各自的建设规模。四代技术方面，中核集团在合并中核建之后技术储备无人能敌，但四代堆型距离大规模商业化仍有一段距离，中短期内示范项目对相关产业链的影响有限。综上，我们建议关注如下标的：

核电建设领域，建议关注国内核岛建安的龙头中国核建(601611，未评级)。中国核建承接了国内 95%以上已建和在建项目的核岛安装工程，随着三代核电规模化建设浪潮的开启，有望在新一轮的景气周期里获益。此外，中核集团近期与中国核建集团在集团层面重组，中国核建与中国核动力研究院设计院签订框架协议，若二者合并或者作为投标联合体，中国核建有望从核岛分包商变为核电项目的总包商，市场空间将大幅度拓展。

核电装备领域，核电建设的重启将对全产业链带来利好。建议关注主设备供应商上海电气(601727，未评级)和*ST 一重(601106，未评级)，以及核电业务占比较高的中核科技(000777，未评级)和江苏神通(002438，未评级)，两者分别是核级阀门和球阀、蝶阀的主要供应商。**装备行业的预期差来自 AP1000 与华龙一号的装机份额**，由于华龙一号先前并未作为国内主要建设的堆型考虑，产业链相关企业业绩弹性较大，建议关注其主设备供应商东方电气(600875，未评级)、主管道供应商台海核电(002366，未评级)和控制棒驱动机构供应商浙富控股(002266，未评级)。

核电站运营领域，建议关注国内主要的核电站运营商中国核电(601985，增持)。核电运营是收入和现金流情况确定性最强的行业之一，中国核电目前控股运营电站规模达 1300 万 kW 以上，占国内总装机容量的 40%以上，每年可创造 400 亿元左右的收入，在建规模 900 万 kW，另有 1300 万 kW 的储备项目，未来 5 年复合增速在 10%以上。

风险提示

- **全球核电行业发生重大核事故。**重大核事故对于全球核电的发展都有极为重大的影响，过往三次重大核事故均导致核电发展停滞，近年来核电发展趋于谨慎与 2011 年的福岛核事故有重要关联。
- **核电核准进度及数量低于预期。**近 2 年核电行业没有新项目获得核准，导致核电设备企业业绩受到负面影响，如果核准继续停滞，会导致产业链景气度进一步滑落。

分析师申明

每位负责撰写本研究报告全部或部分内容的研究分析师在此作以下声明：

分析师在本报告中对所提及的证券或发行人发表的任何建议和观点均准确地反映了其个人对该证券或发行人的看法和判断；分析师薪酬的任何组成部分无论是在过去、现在及将来，均与其在本研究报告中所表述的具体建议或观点无任何直接或间接的关系。

投资评级和相关定义

报告发布日后的 12 个月内的公司的涨跌幅相对同期的上证指数/深证成指的涨跌幅为基准；

公司投资评级的量化标准

买入：相对强于市场基准指数收益率 15%以上；

增持：相对强于市场基准指数收益率 5%~15%；

中性：相对于市场基准指数收益率在-5%~+5%之间波动；

减持：相对弱于市场基准指数收益率在-5%以下。

未评级 —— 由于在报告发出之时该股票不在本公司研究覆盖范围内，分析师基于当时对该股票的研究状况，未给予投资评级相关信息。

暂停评级 —— 根据监管制度及本公司相关规定，研究报告发布之时该投资对象可能与本公司存在潜在的利益冲突情形；亦或是研究报告发布当时该股票的价值和价格分析存在重大不确定性，缺乏足够的研究依据支持分析师给出明确投资评级；分析师在上述情况下暂停对该股票给予投资评级等信息，投资者需要注意在此报告发布之前曾给予该股票的投资评级、盈利预测及目标价格等信息不再有效。

行业投资评级的量化标准：

看好：相对强于市场基准指数收益率 5%以上；

中性：相对于市场基准指数收益率在-5%~+5%之间波动；

看淡：相对于市场基准指数收益率在-5%以下。

未评级：由于在报告发出之时该行业不在本公司研究覆盖范围内，分析师基于当时对该行业的研究状况，未给予投资评级等相关信息。

暂停评级：由于研究报告发布当时该行业的投资价值分析存在重大不确定性，缺乏足够的研究依据支持分析师给出明确行业投资评级；分析师在上述情况下暂停对该行业给予投资评级信息，投资者需要注意在此报告发布之前曾给予该行业的投资评级信息不再有效。

免责声明

本研究报告由东方证券股份有限公司（以下简称“本公司”）制作及发布。

本研究仅供本公司的客户使用。本公司不会因接收人收到本报告而视其为本公司的当然客户。本报告的全体接收人应当采取必备措施防止本报告被转发给他人。

本报告是基于本公司认为可靠的且目前已公开的信息撰写，本公司力求但不保证该信息的准确性和完整性，客户也不应该认为该信息是准确和完整的。同时，本公司不保证文中观点或陈述不会发生任何变更，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证券研究报告。本公司会适时更新我们的研究，但可能会因某些规定而无法做到。除了一些定期出版的证券研究报告之外，绝大多数证券研究报告是在分析师认为适当的时候不定期地发布。

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，也没有考虑到个别客户特殊的投资目标、财务状况或需求。客户应考虑本报告中的任何意见或建议是否符合其特定状况，若有必要应寻求专家意见。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投资标的的邀请或向人作出邀请。

本报告中提及的投资价格和价值以及这些投资带来的收入可能会波动。过去的表现并不代表未来的表现，未来的回报也无法保证，投资者可能会损失本金。外汇汇率波动有可能对某些投资的价值或价格或来自这一投资的收入产生不良影响。那些涉及期货、期权及其它衍生工具的交易，因其包括重大的市场风险，因此并不适合所有投资者。

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，投资者自主作出投资决策并自行承担投资风险，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。

本报告主要以电子版形式分发，间或也会辅以印刷品形式分发，所有报告版权均归本公司所有。未经本公司事先书面协议授权，任何机构或个人不得以任何形式复制、转发或公开传播本报告的全部或部分内容，不得将报告内容作为诉讼、仲裁、传媒所引用之证明或依据，不得用于营利或用于未经允许的其它用途。

经本公司事先书面协议授权刊载或转发，被授权机构承担相关刊载或者转发责任。不得对本报告进行任何有悖原意的引用、删节和修改。

提示客户及公众投资者慎重使用未经授权刊载或者转发的本公司证券研究报告，慎重使用公众媒体刊载的证券研究报告。

东方证券研究所

地址：上海市中山南路 318 号东方国际金融广场 26 楼

联系人：王骏飞

电话：021-63325888*1131

传真：021-63326786

网址：www.dfzq.com.cn

Email：wangjunfei@orientsec.com.cn

