国家电投
SPIC

2018
企业社会责任报告
CORPORATE SOCIAL RESPONSIBILITY REPORT

三代核电自主化
GEN. III NUCLEAR POWER SELF-RELIANCE

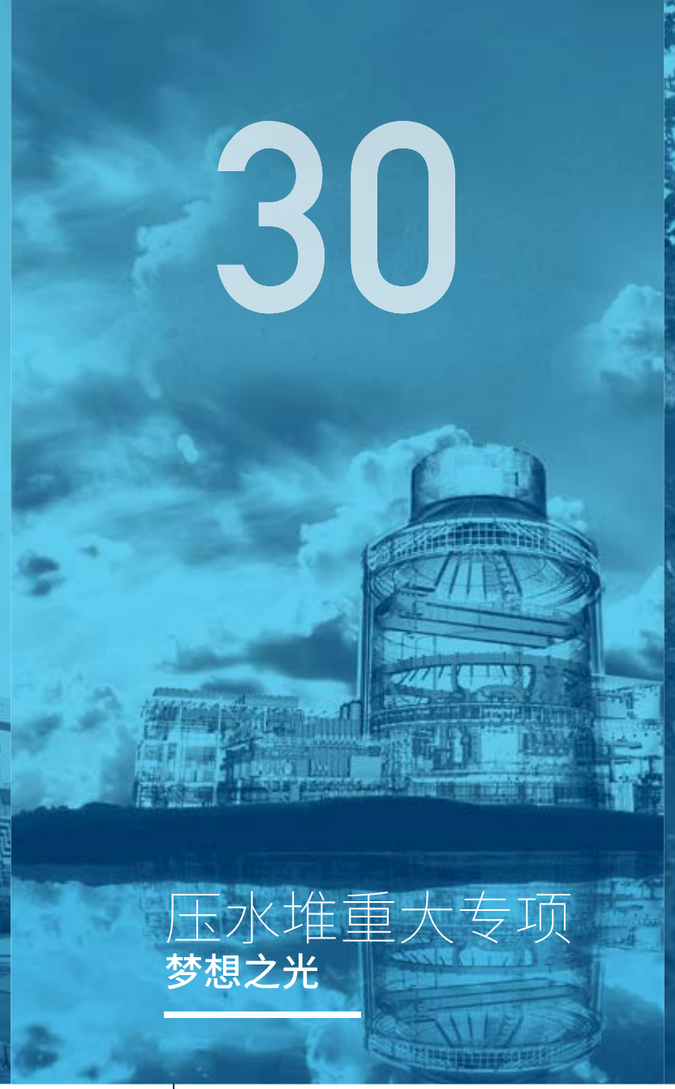
前言

国家电力投资集团有限公司（简称国家电投）成立于 2015 年 5 月，由原中国电力投资集团公司与国家核电技术有限公司重组组建，是中央直接管理的特大型国有重要骨干企业，是世界 500 强企业。国家电投肩负保障国家能源安全的重大责任，拥有核电、火电、水电、风电、光伏发电等全部发电类型，清洁能源装机容量占比已达 48.92%（2018 年底）。

核电是国家电投的重要产业。2007 年，国家核电技术公司成立，承担我国三代核电自主化的重要使命，负责引进 AP1000 三代核电技术，进行消化、吸收和再创新，实现核电站工程设计、设备制造、工程建设与运营管理的自主化，研发具有自主知识产权的大型先进压水堆核电站。

历经十年的不懈奋斗，三代核电自主化工作结出累累硕果。目前，AP1000 依托项目 4 台机组全部投运，大型先进压水堆核电站国家科技重大专项研发完成，国家电投建立了较为完整的核电产业链，拥有 12 家核电投资、运营与前期单位，13 家核能产业链单位，1 家核能研究单位，业务范围涵盖核电研发、设计、制造、建设、运营及核环保等各环节。

2018 年，国家电投制定“2035 一流战略”，正在朝着建设具有全球竞争力的世界一流清洁能源企业的目标大步迈进，核能产业也将在三代核电自主化发展的新起点上再出发，以先进核能技术创新为驱动，以核能发电与综合利用为主导，加快核电向核能拓展，实现核能产业安全高效发展，成为集团公司实现战略目标的重要助力。



04 国之重任
使命必达

- 06/ 全球首批AP1000机组投入商业运营
- 08/ 国和一号核电型号研发完成
- 10/ 三代核电自主化任务基本完成

12 依托项目
我们再出发

- 14/ 将AP1000图纸变成现实
- 18/ 设备国产化：从32%到72%
- 22/ 工程建设管理：在磨砺中升华
- 26/ 新的开端：首批机组运行良好
- 28/ AP1000从“依托”到“批量化”：让先进核电技术造福社会

30 压水堆重大专项
梦想之光

- 32/ 承担国家科研重任
- 34/ 国和一号研发历程
- 36/ 国和一号主要技术特点
- 38/ 国和一号：具有自主知识产权
- 40/ 填补空白：把关键技术掌握在自己手中
- 42/ 关键设备：全力实现自主化

44 绿色发展
未来已来

- 44 国家电投核电产业
- 46 绿色发展

国之重任
使命必达

进入新世纪以来，在能源安全和环境安全的双重驱动下，核电成为我国优化能源结构的理想选择。此外，核电产业在推动技术创新、带动高精尖设备制造产业发展、保障国家能源安全、深化能源供给侧结构性改革等方面，也发挥着重要作用。

依据国民经济快速发展和应对全球气候变化的需要，结合核电发展实际情况，我国决定引进先进核电技术，通过消化吸收再创新，研发具有自主知识产权的三代核电技术。2007 年，国家核电技术公司成立，担负起三代核电自主化的国家使命。

浙江三门核电 1 号机组和 2 号机组分别于 2018 年 9 月和 11 月投入商业运营

2019 年 1 月 9 日，山东海阳核电 2 号机组投入商业运营，标志着 AP1000 依托项目全部建成

全球首批 AP1000 机组
投入商业运营

2019 年 1 月 9 日，全球首批 AP1000 机组、我国三代核电自主化依托项目四台机组全部投入商运，这是我国首批投入运营的三代核电机组，也是国家电投全面落实党中央国务院决策部署、大力推动核能产业安全高效发展、完成三代核电自主化使命取得的硕果。

AP1000 依托项目投运不仅对改善区域能源结构和生态环境效果显著，更重要的是，作为我国三代核电自主化工作的“依托”，在我国引进消化吸收先进核电技术基础上再创新、带动我国核电产业从二代向三代的跨越中，发挥了重要的作用。

AP1000 的先进性

AP1000 是美国西屋公司在 20 世纪 90 年代研发的先进三代核电技术，采用创新的非能动安全系统，安全性相较二代核电技术有大幅度提升。AP1000 技术通过美国和英国核监管当局的严格评审。

更安全的设计

反应堆严重事故概率比第二代核电机组大约低 100 倍。采用非能动安全技术，在全厂断电的情况下，冷却系统依旧能够正常工作 72 小时，为外部救援赢得宝贵时间。

更简化的系统

与二代压水堆核电站相比，AP1000 系统大幅简化，包括管道、泵、阀门、电缆等设备用量大幅减少，既提高经济性，又提高安全性。

更长的设计寿命

核电站寿命达 60 年，而二代核电站一般寿命是 40 年。

国和一号核电型号研发完成

——大型先进压水堆重大专项获得重大突破

国家科技重大专项是我国科技发展战略的重中之重。历经 10 年科技攻关，由国家电投牵头实施的大型先进压水堆重大专项——国和一号核电型号研发成功，中国从此拥有全世界最先进的三代核电技术。

安全性：每堆年发生严重堆芯损坏事件的概率低于百万分之一，每堆年发生大量放射性物质释放事件的概率低于千万分之一。

经济性：预期首堆工程与同期项目相比，具有一定上网电价优势，国和一号批量化后还能降低 10%-15%，具有较强的经济性。

先进性：安全系统整体采用最先进的非能动技术，全面满足国内、国际最新法规标准，放射性排放满足对内陆厂址的最严格要求，设备采用最新成熟工艺，充分吸收国内外 AP1000 工程经验反馈。

成熟性：设备选型、设备验证、设备研制、安全审评有序展开并有效迭代，确保了设备成熟性，有效降低工程风险。

环境友好性：三废排放达到国际最严格标准，放射性废气、废液和废固处理方法进一步优化，排放物浓度进一步下降。

建造周期 48 个月

采用模块化建设、批量化建造，核电项目建造周期可缩短至 48 个月

无操纵员干预 72 小时

采用非能动安全技术，即在电厂断电状况下，反应堆可在事故发生 72 小时内无须人工干预自动保证安全

单机组输出功率 1500 兆瓦

设计寿命 60 年

整体和主设备寿命达 60 年，设备易于运行操作和维修

单机组年发电量 114 亿千瓦时

机组可利用率≥ 93%

减少二氧化碳排放 900 万吨 / 年

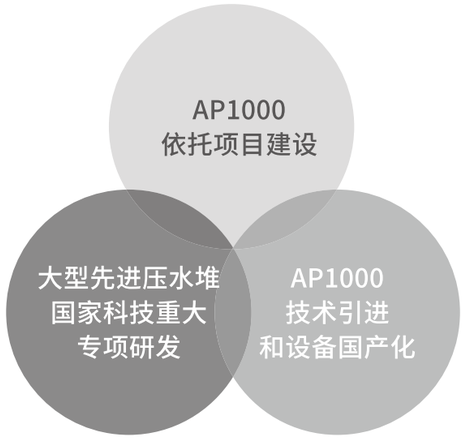
严重事故概率降低 100 倍

采用非能动安全系统，增加电站抗击地震、外部水淹等极端自然灾害的能力

三代核电自主化任务
基本完成

2006 年 11 月 2 日
中共中央政治局常委会决定：

- 从美国西屋公司引进 AP1000 核电技术
- 合作建设自主化依托项目 4 台 AP1000 核电机组
- 在引进、消化、吸收技术的基础上自主创新，实现设计并建成具有我国自主知识产权的“大型先进压水堆核电站”科技重大专项目标
- 批准成立国家核电技术公司



历史回顾

2002-11
原国家计划发展委员会上报国务院《关于适度发展核电，开展核电自主化工作的请示》，建议成立国务院核电自主化工作领导小组，以加强对全国核电发展工作的统筹规划和统一领导

2003-01
国务院召开第 149 次国务会议听取核电工作汇报，为我国核电的发展模式以及三代核电招标确立方向

2003-02
原国家计委组织召开“核电自主化工作座谈会”，确定浙江三门和山东海阳核电厂两个项目统一招标

2004-9-28
中国第三代核电技术依托项目招标正式向全球发布

2004-11-3
国家核电技术公司筹备组成立，暂由该机构负责国家核电技术公司的组建以及即将开始的对外谈判组织与准备工作

2005-2-28
美国西屋联合体、法国阿海珐、俄罗斯 ASE 提交投标资料，启动评标工作

2006-03
筹备组向国务院核电自主化工作领导小组进行汇报，推荐 AP1000 为首选方案

2006-3-22
国务院常务会议讨论并通过《核电中长期发展规划（2005-2020 年）》，明确了引进第三代先进核电技术，提高核电安全水平，逐步实现“四个自主”的核电自主化目标

天湖会议

在历经 3 年的核电自主化依托项目国际招标谈判过程中，党中央、国务院和国家核电自主化工作领导小组多次听取汇报，充分吸纳专家意见，进行科学论证和民主决策。

2006 年 9 月，根据中央领导的指示，国家发改委在北京房山的天湖宾馆召开闭门会议，邀请 34 位知名核电专家（其中包括 9 名“两院”院士）参会。专家中 22 名主张引进美国西屋公司的 AP1000 核电技术，10 名主张同时引进 EPR 和 AP1000 技术，1 名主张引进 EPR 技术，1 名未表态。与会专家的共识为党中央最终决策提供了重要参考依据。

依托项目
我们再出发

从 2009 年到 2018 年底，依托项目建设历经了 10 年。10 年来，国家电投始终秉承“安全第一、质量第一”的原则，克服 AP1000 全球首批设计变更多、设备研制难、施工要求高、调试技术新等一系列困难，完成了 AP1000 全球首批机组的建设任务。

10 年磨砺，国家电投引进消化 AP1000 技术，建立完整的设备供应体系，打造一支专业、成熟的设计研发和工程建设队伍，形成优秀的核安全文化，为国产化 AP1000 机组的批量化建设奠定了坚实的基础。

2009 年 4 月 19 日，时任国务院副总理李克强宣布三门核电一期工程开工

AP1000 将图纸 **建成现实**

2018 年，浙江三门核电 1、2 号机组

AP1000 首堆建设历程

2008-02-26
负挖开始

2008-03-29
核岛筏基第一罐混凝土开始浇注（FCD）

2009-06
最大的结构模块 CA20 模块吊装就位

2014-03-03
主控室可用

2014-04
屏蔽厂房主体结构施工完成，土建工作正式结束

2011 年 9 月 22 日，压力容器吊装

2013 年 3 月 4 日，核岛首台蒸汽发生器吊装就位

2014 年 10 月 9 日，首炉燃料组件接收正式开始

2018-09
投入商业运营

2018-04-25
首次装料开始

2016-07-31
热试开始

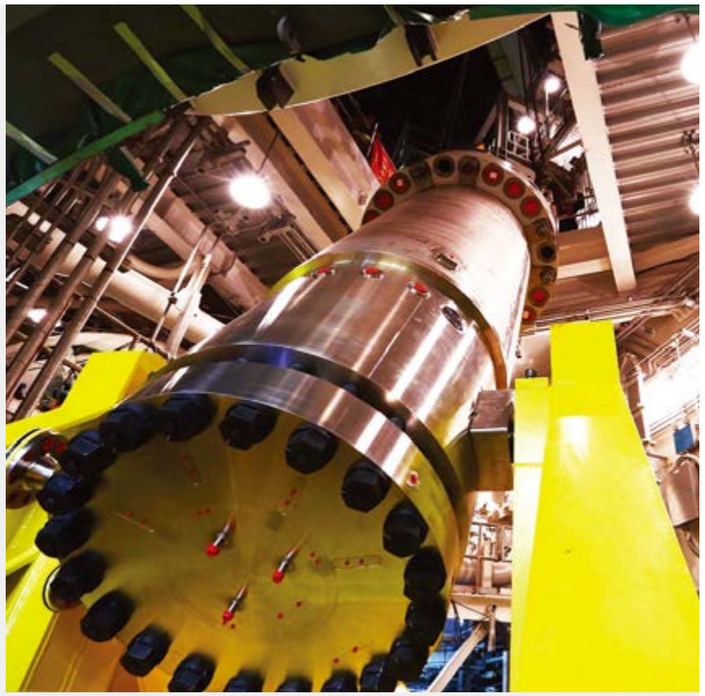
2016-05-24
冷试开始

2016-01-28
首台反应堆冷却剂泵安装就位

AP1000 主泵：梅花香自苦寒来

装备制造业的巅峰

主泵是核电站的核安全一级设备，在核电站正常运行期间为反应堆冷却剂系统循环提供源动力。AP1000 使用的屏蔽电机主泵与传统轴封泵相比，简化了辅助系统和运行维护要求，同时工艺难度大幅提高，代表着装备制造的巅峰水平。AP1000 主泵是屏蔽泵在商用核电站上的首次使用，虽然其供货商美国 EMD 公司经验丰富，但在研制和试验过程中，仍遭遇各种困难，经历了数次试验失败与拆解、首台主泵“两进两出”项目现场。主泵制造拖期也成为依托项目延期的重要原因之一。



2016 年，三门核电 1 号机组主泵安装

108 次高层协调会议

从依托项目建设伊始，国家核电高度关注主泵的研发进展，国家能源局、国家核电领导专程赴美了解和见证试验进展。

在主泵制造过程中，中方加大国内专家监督和参与力度，与美方共同推进主泵研制进程。8 年中，国家核电高层与美方就主泵问题前后举行了 108 次协调会议，时任董事长王炳华无一错过。

期待已久的主泵新娘

2015 年 12 月 30 日清晨，上百人的队伍已守候在三门核电厂专用码头上。装载主泵的船只经过一个半月的太平洋航行，终于从美国费城抵达浙江三门。为了这台可以安装的主泵，国核工程公司现场人员等待了 4 年。大家都说，主泵是大家苦苦等待的新娘。

“主泵不落地”，直接卸船后进入核岛安装。开箱检查、拆防护罩、吊具连接、最终吊装，一气呵成。在等待的日子里，国核工程公司人员不知演练过多少遍这个过程。一个月内主泵顺利安装完毕，之后又成功通过冷试和热试，并通过了 23.6%、50%、88% 和 100% 四个转速平台的功能验证。

2015 年，首台 AP1000 主泵从美国发运

如果你对 AP1000 没有信心，这个攻坚战就打不下来。最后我们就两个字——守住。信心比黄金更重要。

——国核工程三门项目总经理
胡国峰

关于主泵的那些数据

海阳核电业主提供了这样一组数据：

203 道工序：海阳核电首台主泵安装共有 203 道工序，分为 7 个阶段。

600 次会议：各方采用高层会、周会、双周会、专题会、研讨会、对话会、电话会和视频会等形式，对主泵问题进行技术讨论和分析。

2000 个见证点：很多试验相关见证点都在晚上甚至凌晨执行，建造人员都要按时“赴约”。

5000 余份报告：包括日报、周报、月报、周例会报告、巡检报告、见证点监督报告、专题报告等。

主泵的国产化

由于 AP1000 屏蔽主泵的制造难度非常大，美方在经过实地考察认为，中国工厂设备条件和技术经验无法按照工期要求供货，要求中方购买美国的主泵设备。经过反复谈判，中方始终坚持“主泵国产化”。2018 年 9 月，首台中国制造的主泵经产品试验验证完全合格，正式出厂，这与中方专家在主泵试验过程中的深度参与不无关系。面对困境不折不挠，“梅花香自苦寒来”，主泵的故事是依托项目建设的写照。

设备国产化
从 32% 到 72%

让国内装备制造企业能够生产先进的三代核电关键设备，既是国家要求，也是三代核电机组批量化建设需求。但从二代核电站设备到三代核电站设备的升级，意味着在材料、工艺、管理等方面的全方位提升，意味着无数的失败和挑战。

国家电投组织国内装备制造企业夙夜攻关，将依托项目四台机组国产化率从首台机组的 32% 提高到第四台的 72%，关键设备实现 100% 国产化，一批关键材料的研制开发填补了国内空白。

设备名称	三门 1 号	海阳 1 号	三门 2 号	海阳 2 号
屏蔽电机主泵	EMD	EMD	EMD	EMD
爆破阀	SPX	SPX	SPX	SPX
反应堆压力容器	斗山	斗山	一重	上核
蒸汽发生器	斗山	斗山	哈电	上核
堆内构件	斗山	Newington	上海一机床	上海一机床
控制棒驱动机构	Newington	Newington	上海一机床	上海一机床
一体化堆顶组件	PCC	PCC	国核设备	国核设备
环吊	PaR	太原重工	大连重工	太原重工
装卸料机	西屋	大起	上海起重	大起
钢制安全壳	西屋 / 国核设备	国核设备	国核设备	国核设备
主管道	渤船重工	二重	二重	渤船重工
稳压器	上核	东方	上核	东方
安注箱	上辅	上辅	上辅	上辅
堆芯补水箱	上核	哈电	上核	哈电

AP1000 设备国产化进度表

压力容器的技术“压力”

压力容器重约 400 吨，核燃料就在其中发生裂变反应，制造工艺质量要求可想而知。而且技术上要求尽量减少焊接，尽可能整体锻造一次成型。由于大锻件对于钢水纯净度、钢锭均匀性和锻造致密性都有着很高的要求，过去我国核电所需大锻件一直依靠进口。

中国一重承担了首台国产三代核电压力容器的研发制造工作。为造出合格的锻件，光重达 490 吨的接管段钢锭就做了 6 个。为解决热处理和淬火问题，自行设计了大型喷钻设备和旋转喷淬装置，解决了大型锻件上下难均匀和内壁难均匀的问题并获得发明专利。

2014 年 8 月，三门核电 2 号机组压力容器从中国一重发运，标志着我国已经具备为三代核电建设批量化发展提供成套装备的能力。

“非同一般”的主管道

主管道是核电站的主动脉，它用于连接反应堆一回路系统，属于核安全一级、抗震类 I 类设备，最粗的外径达到 958 毫米，长度超过 6 米。设计要求主管道作为一个整体锻造形成，没有焊接，直管成型后，要冷态弯制完成，工艺十分复杂，世界上没有厂家做过。

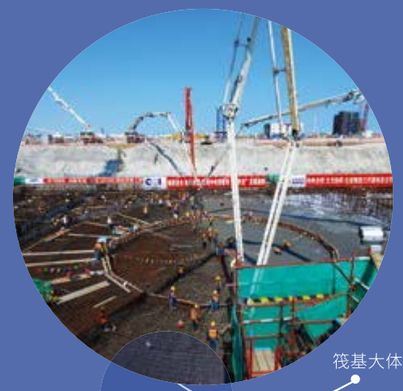
主管道是三代核电招标中唯一没有技术转让的主设备。国内 8 家企业组成 5 个研究团队对该设备生产技术进行攻坚。经过 2 年的努力，制造出符合设计要求和国家安全要求的主管道，获得依托项目供货合同，而价格是外国厂家报价的三分之一，并取得一大批专利。

渤船集团承制的三门核电 1 号机组主管道热段 L001A 管段

最难造的核级电缆

AP1000 核电技术对安全壳内使用的电缆提出了国内外核电厂从未达到的高要求：阻燃、低烟、不含可能会产生有毒烟雾的卤族元素（氯、氟等）、60 年使用寿命、耐高温、耐高剂量辐射、耐热水浸泡……放眼全球，没有任何一家企业生产过如此高要求的电缆。

为了使壳内电缆不成为制约工程进展的关键问题，国家电投联合江苏民营企业上上电缆厂经过两年研发和反复论证，最终形成了安全壳内核级电缆的设计方案和鉴定试验方案，在历经了热老化、辐照老化等共计长达一年零八个月的多种鉴定试验后，终于成功生产出完全合格的产品，并获得专利，填补了国际空白。



筏基大体积混凝土一次性浇注

模块化制造和施工

土建和安装并行施工

工程建设管理
在磨砺中升华

依托项目建设过程中，通过与西屋联队联合进行项目管理的方式，学习和引进美国先进的项目管理技术和工具，培养国内三代核电的建造管理能力，掌握了大体积混凝土浇注等关键施工技术。从跟随学习到独当一面再到向AP1000美国项目反哺项目建设经验经历了全球首批AP1000机组建设的十年锤炼，一支全球首屈一指、高度专业化的AP系列核电站工程管理队伍终于形成。

掌握关键工程施工技术

钢制安全壳制造、吊装、现场热处理、压力和泄漏率测试

核岛主设备安装

保护与安全监测系统（PMS）安装调试

锻造（整体）主管道安装

创纪录的大体积混凝土一次性整体浇注

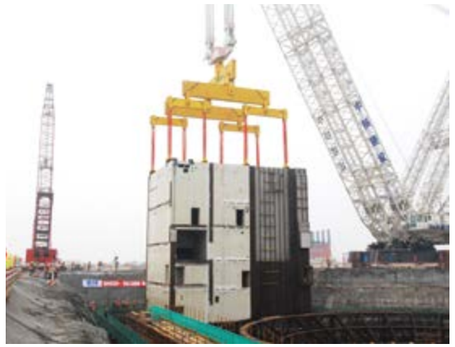
2009 年 3 月 29 日，三门核电 1 号机组核岛筏基第一罐混凝土开始浇注，此次浇注混凝土体积 4982 立方米，厚度超过 1.8 米，历时 46 小时 58 分。如此大规模的混凝土浇注量，不论是浇注时的资源组织、混凝土散热、还是浇注后的保温保湿，都是全新的课题。这是我国在核电工程建设中**首次采用核岛筏基混凝土一次性整体浇注的先进方式，也创造了全球核电厂核岛筏基大体积混凝土整体连续浇注的成功范例，**至此我国掌握了核电站核岛筏基混凝土一次性整体浇注的先进技术。

核岛筏基大体积混凝土一次性浇注现场

开启核电站模块化建造新时代

AP1000 核电技术采用大量模块化施工技术，即在工厂中事先做好厂房墙体（结构模块）和部分管道阀门的组装（设备模块），可以免去现场大量土建安装工作并缩短工期。

2009 年 6 月，三门核电 1 号机组最大的结构模块 CA20 模块吊装就位。该模块是核电厂的乏燃料池所在建筑，高 20 多米，起吊重量达到 968 吨。此次吊装启用了当时世界上起重能力最大的履带式起重机。CA20 模块的成功就位**拉开了我国核电站工程建设进入模块化建造新时代的帷幕。**



海阳核电模块化吊装

主动脉上的微创手术：ADS-4 管道打磨

三门核电 1 号机组热试过程中，和主管道相连的 ADS-4 管线发生声波共振，因此须在内径只有半米的主管道冷段内侧，在奥氏体不锈钢材质的管道内侧打磨掉 4993 克的材料。由于管道内空间限制，无法引入三维数控设备，需要手工操作，并满足毫米级的误差精度。

国家电投制定分层切削的方案，以实现复杂三维体积的渐进逼近，并先后开发出三代切削设备，通过多种手段实现切削可控。在全尺寸模拟试验中，又解决了主管道内外三维曲面网格一致性、不均匀喉部壁厚测量、现场切削打磨检查控制等一系列技术难题。

经过一百多个日夜的连续奋战，攻坚团队最终圆满完成在核电站“主动脉上做微创手术”的行业壮举，管道振动终于符合设计标准。

ADS-4 管道打磨

新的开端
首批机组运行良好

三门、海阳核电首批四台 125 万千瓦 AP1000 核电机组投运后保持安全稳定运行，对保障区域能源供应与安全、能源结构优化、生态环境保护等发挥着重要作用。海阳核电一期工程两台机组并网至 2019 年 6 月底，发电量已超 110 亿度。

单台机组
（年发电小时数 8000 小时）
的环保效益

节约标准煤
343 万吨

减排二氧化碳
891 万吨

减排氮氧化物
2.5 万吨

减排二氧化硫
2.9 万吨

相当于种植阔叶林
2.4 万公顷

核能供热可有效降低污染物排放，实现我国供暖手段的多元化，促进核电厂与当地政府及民众的关系，同时提高核电机组的利用小时数。

海阳核电利用核电厂余热实现核能供热，一期抽汽供热工程已完成相关准备工作，项目包括厂内供热和厂外供热两个部分。这是国内首次实现核能清洁供热。预计 2019 年底，海阳市 70 万平方米的用户就可率先享受到核能“温度”。

以每 **100** 万平方米核能供热

可节约标准煤
3.3 万吨

减排二氧化硫
546 吨

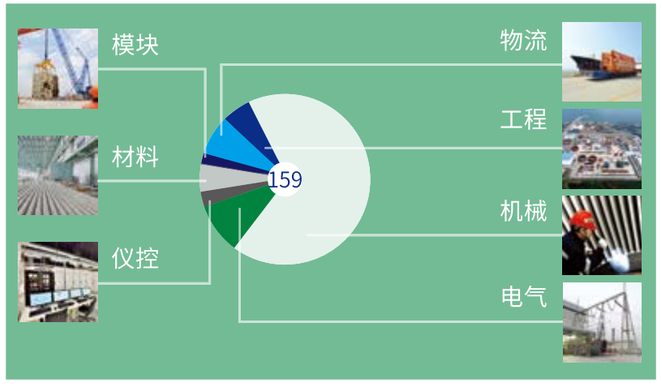
减排二氧化碳
8.6 万吨

减排氮氧化物
516 吨

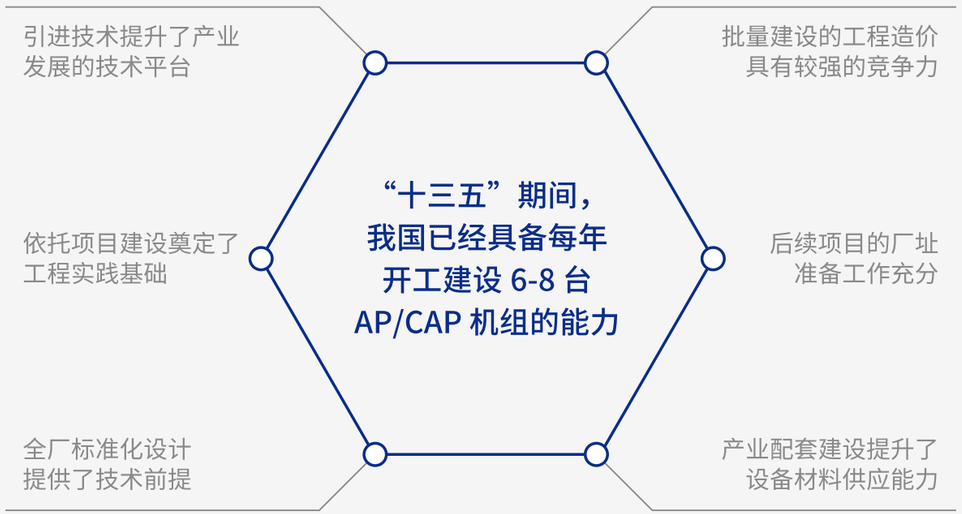
相当于替代
15 个 10 蒸吨小锅炉

AP1000 从“依托”到“批量化”
让先进核电技术造福社会

首批机组顺利的调试过程、迄今安全的运营业绩充分验证了 AP1000 简化设备、先进的技术优势，无愧最先进的三代核电技术之誉。通过十年建设实践，国家电投完成了国产化 AP1000 设计，建成了年产 6-8 台套的供应商体系，培养了一支高水平的设计、工程管理和运营队伍，AP1000 后续项目建设已经具备条件，让更安全、更先进的核电站造福社会。



AP/CAP 供应商体系



通过 AP1000 技术引进和依托项目经验反馈，国家电投完成 AP1000 国产化设计。目前徐大堡核电一期、海阳核电二期、三门核电二期、陆丰核电一期的国产化 AP1000 标准设计已经完成，具备开工建设条件。

海阳核电二期工程现场

三门核电二期工程现场

陆丰核电核岛全景

压水堆重大专项
梦想之光

2018 年 5 月 28 日，习近平总书记在中国科学院第十九次院士大会、中国工程院第十四次院士大会上指出：“我们着力推进面向国家重大需求的战略高技术研究，……国产航母、**大型先进压水堆和高温气冷堆核电、**天然气水合物勘查开发、纳米催化、金属纳米结构材料等正在进入世界先进行列。”

习近平总书记在讲话中提到的“大型先进压水堆”，即 2006 年国务院发布的《国家中长期科学技术发展规划纲要（2006-2020 年）》确定的 16 个国家科技重大专项之一。作为牵头实施单位，国家电投带领涉核企业、科研院所开展技术攻关，最终完成国和一号核电型号的研发，使我国核电技术储备、装备制造能力迈上了一个新台阶。

国家科技重大专项国和一号效果图

承担国家科研重任

2008 年 2 月 15 日，国务院常务会议审查并原则通过《大型先进压水堆核电站重大专项总体实施方案》。根据国务院要求，由国家核电牵头实施大型先进压水堆核电站重大专项，组织核电领域、装备制造业领域的科研院所、高等院校等各有关单位参加压水堆专项研发和攻关工作，历时 10 年完成国和一号。

总体目标

消化吸收目标

掌握先进非能动安全的AP1000设计技术

工程目标

完成 CAP1400 示范工程建设，推进批量化发展

创新研发目标

突破核电关键设计技术、重大试验验证技术、关键设备设计和制造技术，开发CAP1400先进核电技术型号，预研CAP1700

核电创新体系建设目标

形成核电可持续发展的体系与机制。使人才队伍、技术研发、试验验证、设计分析软件、核电标准及知识产权等达到与赶超国际先进水平

相关链接

国家科技重大专项是为实现国家目标，通过核心技术突破和资源集成，在一定时限内完成的重大战略产品、关键共性技术和重大工程。国家科技重大专项共有 16 个，工程来源于《国家中长期科学和技术发展规划纲要（2006 — 2020 年）》，将实现以科技发展的局部跃升带动生产力的跨越发展，并填补国家战略空白，是我国科技发展的重中之重。

国和一号
研发历程

大型先进压水堆国和一号技术的研发历时

10 年

参与的涉核企业、科研院所、装备制造企业共有

477 家

投入攻关技术人员

26859 名

国和一号研发历程

2009-10

国和一号示范工程初步可研报告通过审查

2012-12-13

国和一号概念设计通过国家科技重大专项领导小组组织的专家审查

2014

国和一号初步设计通过国家能源局组织的专家评审

2014

完成六大试验课题的全部 17 项关键试验、共 887 个工况下的独立试验验证，国家核安全局全程对关键工况点进行了见证

2015-12

中咨公司召开 CAP1400 项目申请报告评估会，2016 年 2 月正式出版项目核准评估报告

2016-2

国家核安全局核安全与环境专家委员会审议认可了历时 17 个月的国和一号安全审评的总体结论，建议颁发建造许可证

2016-04

国和一号通过国际原子能机构（IAEA）通用安全评审，审查认为国和一号总体达到国际原子能机构安全法规标准的最新要求

2016-12

国和一号示范工程核岛施工设计基本完成

2017-12

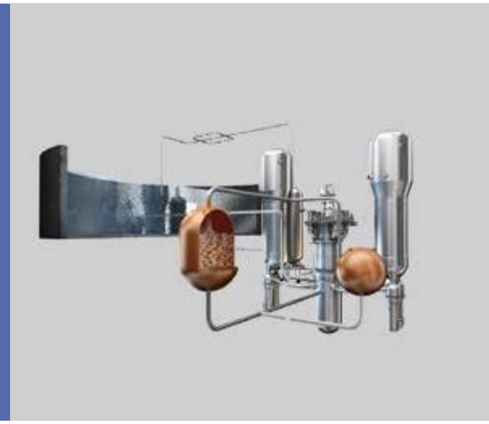
国和一号关键设计技术研究课题通过国家能源局组织的正式验收

国和一号
主要技术特点

主要项目	指标	主要项目	指标
堆芯热功率	4040MWt	堆芯损坏率	＜ 1.0×10^{-6}/ 堆年
预期电功率	1500MWe	大量放射性释放频率	＜ 1.0×10^{-7}/ 堆年
回路系统	二回路配置	安全系统	非能动
设计寿命	60 年 （4 冷管 +2 热管）	无操纵员干预下的反应堆安全停堆时间	72 小时
电厂可用率	≥ 93%	地震工况	0.3g 安全停堆地震 0.5g 高置信度低概率
建造周期	≈ 48 个月	严重事故缓解	堆内熔融物滞留（IVR），非能动氢气复合器 / 氢气点火器
换料周期	18 个月	合规性	符合包括美国、欧洲、中国在内的全球核安全标准

非能动安全系统

国和一号核电技术采用了非能动系统提高安全性并简化设计。非能动安全系统是依靠重力、密度差等自然现象来保证核电厂的安全，如热空气上升、水往低处流、蒸发吸热等，不需要泵等能动设备支持。依靠非能动安全系统，国和一号核电站在设计基准事故情况下（如冷却剂管路破裂），不需任何外部动力，即可实现安全停堆，确保核电厂安全。

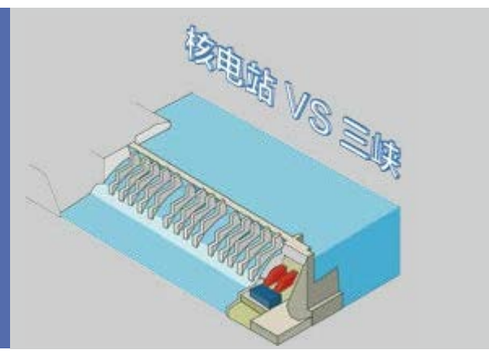


模块化建造

国和一号核电站采用了模块化建造技术。模块化建造以房间、墙体、设备组等作为模块单元，在工厂中进行预制生产，完成后运输至现场，通过可靠的连接方式组装成为建筑整体。模块化施工将“先土建，后安装”的传统“串联式”施工方法，改变为“工厂预制，现场组装”的“并联式”施工，可以使土建、安装、调试等工序进行深度交叉，大大缩短核电站的建造周期，进而降低工程造价。

发电功率 150 万千瓦

国和一号机组发电功率为 150 万千瓦，每年发电量 114 亿千瓦时。在同样的核电厂址，选择国和一号可以发更多电。2018 年，全球最大的三峡水电站发电量超过 1000 亿千瓦时，创全国单座水电站全年发电量新记录。按此计算，一个拥有 8 台国和一号机组的核电基地，一年的发电量即可等同于三峡水电站一年的发电量。



国和一号
具有自主知识产权

截至 2018 年底，压水堆重大专项国和一号

已形成知识产权	申请国家专利	其中获得发明专利
6513 项	**1705** 项	**1061** 项
编制各类标准	软件著作权	形成技术秘密
762 份	**269** 项	**709** 项

六大试验——全面验证国和一号设计

国和一号代表世界上最先进的核电技术水平，满足最严格的安全设计标准，这对核电安全系统和关键设备的可靠性提出更高的要求。国和一号设置了 6 大关键试验课题，用于支撑 CAP1400 工程设计和安全评审。

自 2011 年 1 月立项，经历了试验需求分析、试验方案确定、试验台架设计、试验台架建设、可用性评估、试验过程实施、试验数据分析评价等系列工作，于 2014 年 12 月全面完成验证试验工况，试验过程由国家核安全局见证。这不仅全面提升了我国核电技术的基础研究和试验研究能力，而且提升了我国核电领域重大科研项目的组织管理体系与技术创新体系。

非能动堆芯冷却系统性能试验

蒸汽发生器试验

反应堆整体水力模拟试验

非能动安全壳冷却系统试验

堆内构件流致振动试验

堆芯熔融物滞留试验

填补空白
把关键技术掌握在自己手中

在核心技术方面

成功研发并建成设计母机体系，具备系列化开发非能动核电站的能力，形成覆盖热工、燃料、物理、安全分析、水化学等软件体系。

在试验验证方面

新建和改建 22 个试验设施，完成 6 大试验课题的主要任务，建成一批具有世界先进水平的综合配套试验设施，支撑国和一号安全审评。

在设备国产化方面

重点解决主设备的自主设计、材料、电缆、泵阀在内的一系列关键制造技术，解决了一批核电发展的迫切需求和“卡脖子”关键问题，促进中国核电产业高质量、高水平发展。

COSINE——自主研发的核电软件平台

核电设计分析软件的自主化是核电技术水平的关键性标志，也是核电自主出口的必要条件。为改变我国核电设计与安全分析软件主要依赖国外技术的局面，2010 年 5 月，国核软件技术中心成立，启动核电厂设计与安全分析软件（COSINE）研发计划，拉开我国核电软件自主化工作的序幕。

2011 年，国核软件中心获批建设“国家能源核电软件重点实验室”，是我国核电行业中目前唯一一个核电软件领域的国家级重点研发平台。2015 年 12 月 21 日，国核软件中心成功发布我国首套完全自主知识产权的核电厂核设计与安全分析软件—COSINE，标志着我国核电软件自主化工作取得关键性突破，极大提升我国核电技术“自主研发、自主设计、自主建设、自主运营”的能力。

COSINE

核电厂设计与安全分析软件 COSINE

和睿系统：核电站“安全卫士”

作为核电站最重要和价值最高的成套设备之一，核电站数字化仪控系统被喻为核电站神经中枢，控制核电站近 300 个系统、近万个设备的运行和各类工况处理过程，使操作简化、准确，防止假信号并减少误操作，提高机组安全性。

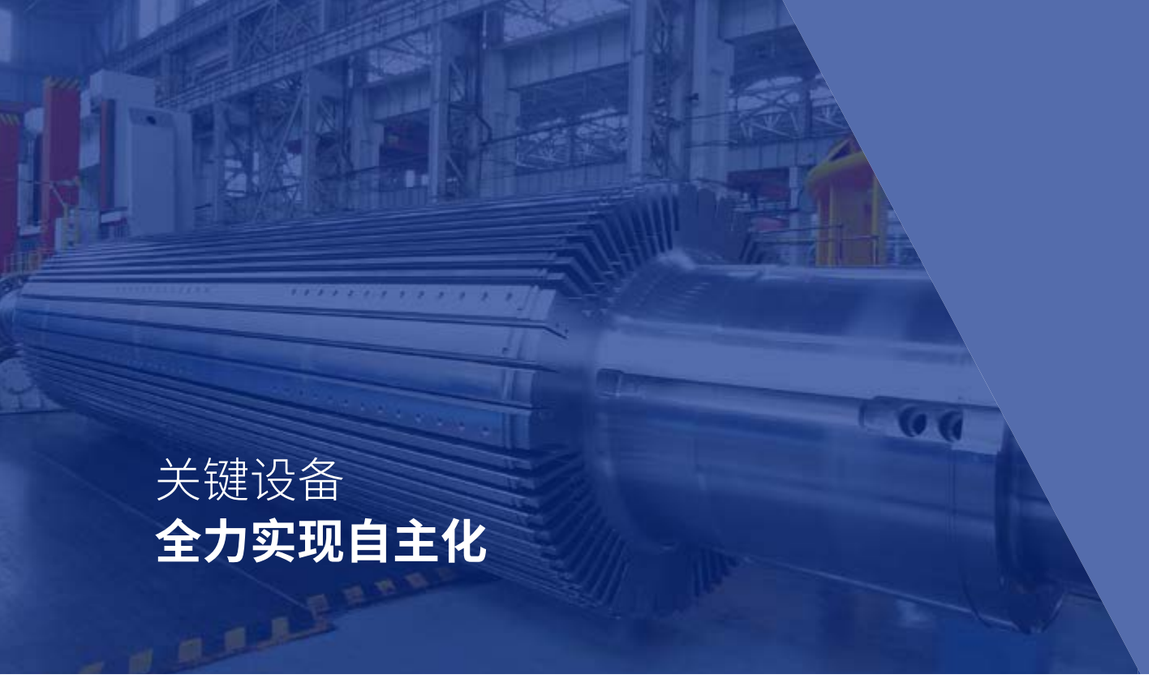
2013 年，“CAP1400 核电站数字化仪控系统研制”课题获国家能源局批准立项，由国核自仪牵头实施。通过多年自主创新和攻关，研制出技术先进、功能齐全，完全覆盖核电站的全部系统——Nu 系列核电站数字化仪控产品。

2015 年 12 月，中国具有完全自主知识产权的 NuPAC 平台，通过中国国家核安全局和美国核管理委员会 (NRC) 许可，成为全球首个通过中美政府核安全监管机构行政许可的核电站反应堆保护系统平台。

国和一号的神经系统——和睿系统

关键材料的国产化

核级锆材是核电站燃料的包壳材料，国家电投建立了国内首条完整的核级锆材生产线，实现从海绵锆到核级锆材等关键材料的国产化，填补国内该领域空白，生产规模与能力位居世界前列。



关键设备
全力实现自主化

我国核电产业一直面临着几个受制于人的“卡脖子”问题，包括材料国产化、关键设备的国产化和自主化。2011 年，国和一号核岛重大设备设计技术研究课题正式启动，针对这些核电产业配套的缺失或薄弱环节进行布局和科研攻关。

国和一号关键设备、关键材料基本实现自主化设计和国产化制造，设备国产化率超过 85%，实现我国装备制造业能力水平向三代跨越，也保障了国和一号批量化建设的能力，推动中国装备制造工业的整体转型升级、扩大中国高端制造的全球影响力。

核电之肺 自主呼吸

蒸汽发生器是核岛内的主要设备之一，作用是将堆芯产生的热量转化为蒸汽。在核电设备中，蒸汽发生器个头最高、体积最大，被称为“核电之肺”。

此前，国内核电站蒸汽发生器多为国外研制。“CAP1400 蒸汽发生器研制”课题由多个单位联合实施，包括东方电气、上海电气和中国一重、二重集团、上重等公司。

2018 年 8 月 9 日，“CAP1400 蒸汽发生器研制”课题顺利通过国家能源局组织的正式验收，标志着中国从此具备 CAP1400 蒸汽发生器的自主制造能力。

国和一号蒸汽发生器管板

小焊条 大作用

上海核工程研究设计院联合四川大西洋焊接材料股份有限公司、机械科学研究院、哈尔滨焊接研究所等焊接企业，自主创新完成国和一号全部 20 种核电焊接材料的研制，覆盖三代核电设备制造及现场安装的低合金钢、不锈钢及镍基合金焊接材料。产品已在国和一号、AP1000 系列核电工程及军工核电工程应用，降低了核电焊接材料 30%-50% 的采购成本。

国家科技重大专项实施中，大西洋公司通过与上海核工院共同搭建的核电焊材研发中心平台，将推进专项科研成果的产业转化与工程化应用，加快核级焊材国产化应用，为中国核电走出国门做出新的更大贡献。

—— 四川大西洋焊接材料股份有限公司董事长 李欣雨

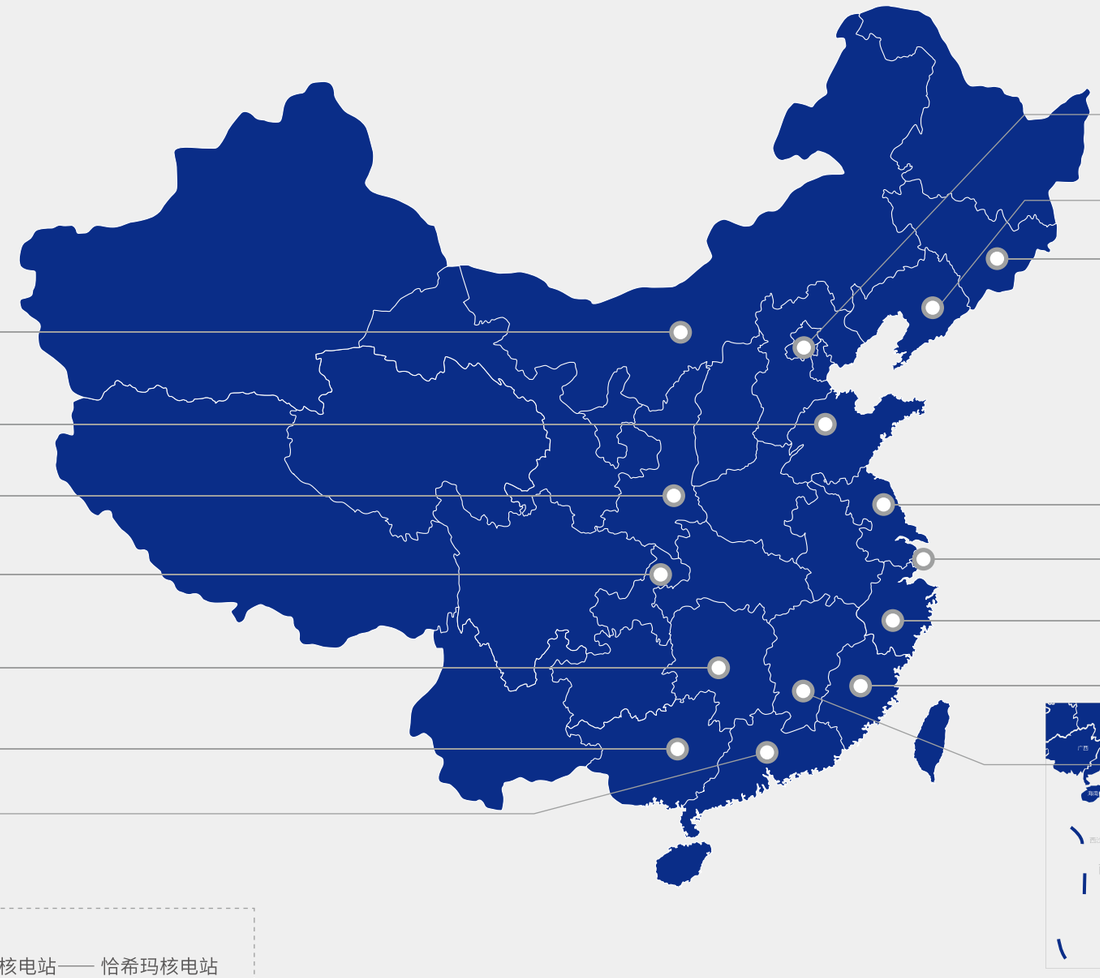
690 U 型管，弯曲出新境界

国外把 690 U 型管相关的研究数据、关键工艺视为核心技术，对我国实行严格封锁。江苏宝银特钢、浙江久立特材与国家电投团队历经 6 年的攻坚克难，通过大量试验、多轮论证，自主创新建立国和一号蒸汽发生器用 Inconel 690 U 型传热管综合研究评价与制造体系，产品性能达到国际先进水平，而且同比国外造价降低 30% 以上。

国和一号 Inconel 690 U 型管

国家电投核电资产分布图

■ 控股核电站（含前期项目）　▲ 参股核电站　● 涉核企业



● 国核电力院　国家电投中央研究院　国核服务

■ 红沿河核电　辽宁核电

■ 吉林核电

● 中核包头核燃料元件股份公司（参股）

■ 山东核电　国核示范　● 国核设备　山东院

● 国核锆业

■ 国核维科锆铪公司　▲ 田湾核电（参股）

■ 重庆核电

● 上海核工院　上海成套院　国核工程　国核自仪

▲ 三门核电　秦山核电二、三期（参股）　● 国核浙能

■ 湖南核电

■ 福建核电

■ 广西核电

■ 江西核电

■ 湛江核电

产业能力

研发设计

中国大陆第一座核电站——秦山核电站　中国第一座出口核电站—— 恰希玛核电站
国和一号核电站　国产化 AP1000 核电站　小型商用核反应堆

工程建设

总包建设全球首批 AP1000 核电机组
总包建设国和一号核电站
建立 AP/CAP 全球采购平台

关键设备制造

数字化仪控、核级锆材、钢制安全壳等关键设备

运营

海阳核电厂、红沿河核电厂

寿期服务

全寿期保障服务

参股运行	控股运行	控股在建
176 万千瓦（权益容量）	689 万千瓦	224 万千瓦

绿色发展
未来已来

未来已来。

绿色发展是国家电投未来发展的主基调，建设具有全球竞争力的世界一流清洁能源企业，是国家电投的发展目标。核能是国家电投的重要产业版图，也是实现发展目标的重要支撑。

未来，国家电投将加快推进国和一号落地及国产化 AP1000 技术批量化发展，推动核能供热、核能海水淡化、核能制氢等先进技术研发和应用，让更安全高效的核能，更好地造福人类。

采用可降解环保再生纸制作

国家电投中文官网

国家电投官方微信

国家电力投资集团有限公司
STATE POWER INVESTMENT CORPORATION LIMITED

地址：北京市西城区北三环中路29号院1号楼
电话：+86-10-66298000
邮编：100029
网址：www.spic.com.cn