

中国探月“梦之队”

——嫦娥三号探测器研制团队创新探秘

本报通讯员 庞丹 本报记者 付毅飞

中华民族的千年梦想、“嫦娥奔月”的美丽传说，如今终于成为现实。记者从中国航天科技集团公司了解到，担负本次探月任务的嫦娥三号探测器，是我国自行设计、研制，自主独立完成的。缔造这一奇迹的是一支平均年龄超过30岁的探月“梦之队”。

创新放飞嫦娥梦

2008年3月，探月工程二期立项，嫦娥三号探测器研制的大幕拉开。这项使命，落在了航天科技集团第五研究院嫦娥三号团队的肩头。虽然有嫦娥一号、二号卫星成功绕月的技术基础和经验，但嫦娥三号首次要在月面软着陆，走进“广寒宫”，困难重重，许多新的技术难题需要攻克。与以往我国任何航天器相比，它面临月面特殊温度、月尘、月壤、月面地形地貌等新环境带来的难题，还要突破月球无大气条件下的着陆减速、着陆段自主导航控制、着陆冲击缓冲、月面生存、月面移动、月面巡视自主导航与遥操作控制等核心技术，技术跨度大，设计约束多。

为适应任务需要，嫦娥三号注定要成为不同以往的全新航天器。在总设计师孙泽洲的带领下，研制团队打响了一场“攻坚战”。为了在月面上实现软着陆，他们为着陆器专门配置了“四个腿”；为了实现虹湾地区的着陆，着陆器上首次使用了微波测距测速传感器、激光三维成像敏感器、光学成像敏感器、7500牛发动机等核心关键设备；为了在月面上走得稳，他们为巡视器安装了六个筛网轮；为了顺利完成巡视勘察，他们为巡视器配备了多个“秘密武器”：导航相机、避障相机、激光点阵器……

创新为这支年轻团队插上了翅膀，他们在嫦娥三号上不断挑战一个又一个“第一”：月基天文望远镜、极紫外相机、测月雷达等有望实现国际首次月面科学探测；首次在我国航天器上采用特殊“热源”技术、7500牛变推力发动机技术，以及世界首创热控两相流体回路控制技术；首次配备360度全景相机、红外光谱仪和X射线谱仪；全新的着陆缓冲系统、全新的自主导航控制和遥操作系统……

创新铺就踏月路

与神话中嫦娥的婉约秀丽不同，嫦娥三号

像是一位身披黄金甲，威风凛凛的“大将军”。这是研制团队历经5年9个月的精心打磨，为它远征月宫而赋予的雷霆之姿。

立项以来，嫦娥三号先后经过20个月的方案设计及关键技术攻关、26个月的初样研制和20个月的正样研制。对于研制团队而言，经历的是一场场拼搏会战。

“嫦娥三号面临的最大难度是如何稳稳当当地落在月球上，必须是软着陆。”嫦娥三号探测器系统首席科学家叶培建说。软着陆是探测器进行地外天体科学探测的第一步，是探测活动中最为重要的环节。目前，软着陆方式一般分为降落伞式、缓冲气垫式和反推式三类。由于月球上没有大气，属于真空状态，降落伞无法使用；真空状态会使气垫膨胀过快，所以气垫方式也被放弃。反推式由此成为唯一的选择。为实现反推式软着陆，研制团队帮助嫦娥三号迈过了“三道坎”：防翻、减速、缓冲。确保其重心尽可能低，降落时速度尽可能低，并通过缓冲尽可能吸收冲击载荷，确保器上设备安全可靠地工作。

“不同于近地航天器，嫦娥三号的资源有限，对重量要求非常苛刻。”孙泽洲说，“整器干重1220千克，占发射质量的比例不超过三分之一，减重困难非常大。”为此，研制团队一方面精打细算，对每个设备“克克计较”；另一方面进行总体优化，通过合理的功能模块划分，实现优化配置。既做到为探测器减重“瘦身”，又能保证其“含金量”。

嫦娥三号向月球飞奔时，如果来不及刹车，就会一头撞上月球，摔得“粉身碎骨”。为了实现减速研制团队创新采用了7500牛发动机的变推力技术，突破了着陆减速的难题。

月球表面崎岖不平，并覆盖了一层松软的月壤，这为嫦娥三号安全着陆带来了很大的困难；同时着陆在月面不仅存在翻倒的可能，还会激起月尘对任务带来影响。研制团队充分考虑了月壤物理力学特性对冲击、稳定性的影响，以及月尘的理化特性等，研制出全新的着陆缓冲系统，为软着陆提供了牢固的支撑。

凭借无穷的智慧和创新的热情，研制团队为嫦娥三号铺就了一条完美的踏月之路，

确保它“出得去”、“刹得住”、“控得精”、“落得准”、“走得稳”。

创新打造梦之队

面对重力为地球六分之一、陨石大坑遍布、昼夜温差超过300摄氏度的月面特殊环境，如何确保嫦娥三号“存活”下来并顺利开展巡视勘察任务，是研制团队面前的又一只“拦路虎”。

经过两千多个日夜的奋战，他们研制出全球首创的两相流体回路，啃下了热控设计“硬

骨头”，为它的生存安全打牢了基础。

为了验证探测器着陆过程导航制导算法、GNC与推进协调工作能力及工作程序的正确性，研制团队建设了大型月球着陆试验场，研制了跨度100米、高110米的着陆塔架，研制了着陆验证器，并首次在地面大气条件下点火，开展了悬停、避障及缓速下降试验。

同时他们还开展了着陆稳定性试验，验证了月球重力场下着陆面地形地貌和着陆面力学参数对着陆稳定性的影响；进行了着陆冲击试验，获取了器上主要部位的冲击响应，并对



12月14日，星箭特种玻璃有限公司的工作人员在检测航天玻璃片内在条纹。2000年10月，秦皇岛市星箭特种玻璃有限公司开始与中国航天科技集团公司合作，从事空间用抗辐射玻璃盖片、航天用铍的二次表面镜(OSR)玻璃盖片和高强度抗辐射玻璃盖片的研发生产，产品先后用于神舟五号至神舟十号，双星探测、嫦娥一号、二号、三号 and 天宫一号等多颗卫星与航天器上。目前，该公司被中国航天科技集团指定为抗辐射玻璃盖片全国唯一合格的供货方。

新华社记者 杨世尧摄

月球上有哪些中国人名与地名？

新闻链接

新华社北京12月14日电（记者余晓洁 郭丽瑾）正在绕月飞行的我国嫦娥三号探测器计划14日晚择机月面软着陆。月球，这个地球的近邻上有没有留下中国人的名字呢？有！

从望远镜被发明开始，人类陆续对月球上的一些地形单元进行了命名。从1935年开始，国际月面地名命名委员会相继对这些地名进行了整理和确认。2010年，我国利用嫦娥工程影像数据首次申报“月球地理实体命名”，获得国际天文学联合会批准。为月面上的三个撞击坑用我国著名科学家蔡伦、毕昇和张钰哲的名字来命名。

（科技日报北京12月15日电）

根据国防科工局的资料统计，月球上共计有14个以中国人和地名命名的19个月球地理实体，包括12个撞击坑、2个月溪和5个卫星坑。

这14个中国人和地名包括：石申、蔡伦、张衡、祖冲之、李白、毕昇、郭守敬、万户、高平子、张钰哲、神话传说中嫦娥和瓷都景德镇。此外，1976年和1985年有两条月球正面的月溪被外国人分别用两位中国妇女的名字命名。由于文献资料的缺乏，至今无法确认这两位发音为“Wan—Yu”和“Sung—Me”的中国女性是谁。

“嫦娥”“玉兔”互拍成像 探月工程二期圆满成功

（上接第一版）

许其亮、范长龙、栗战书、杨晶，中央军委委员又伙参加上述活动。

嫦娥三号探测器于12月2日从西昌卫星发射中心升空，准确入轨。14日，嫦娥三号探测器在月面成功软着陆，科学探测任务陆续展开。嫦娥三号任务的圆满成功，实现了我国航天器首次在地外天体软着陆和巡视勘察，标志着我国探月工程“绕、落、回”第二步战略目标取得全面胜利，在我国航天事业发展中具有重要里程碑意义。

中广核岭澳核电站二期工程获中国核能行业2013年度科学技术最高奖

五大创新成果获肯定 强力带动行业科技进步

本报记者 刘传书

2013年11月27日，中国核能行业协会2013年度科学技术奖评选结果正式公布，由中广核工程有限公司牵头、国内核电工程设计、设备制造、建安运行等主要单位联合申报的“中国百万千瓦核电自主化依托项目——岭澳核电站二期工程”科技成果荣获科学技术奖一等奖（第1名）。

中国核能行业协会科学技术奖是为促进核能行业科技进步、表彰核能行业自主创新成果，经国家科技部于2010年7月批准设立的，每年评选一次，获奖项目代表了中国核能行业年度科技进步的突出成就。据悉，本年度共有134个核能科技创新项目参与角逐，岭澳核电站二期工程在众多项目中脱颖而出，获得一等奖。

岭澳二期宣告“中国有能力自主设计和建造百万千瓦级核电站”

岭澳二期是我国“十五”期间唯一核准并开工建设的核电项目，是国务院确立的百万千瓦核电自主化依托工程，也是我国第一个全面实现“自主设计、自主制造、自主建设、自主运营”的百万千瓦级核电工程。岭澳二期由中国广核集团（以下简称：中广核）下属中广核工程有限公司在国内首次采用工程总承包模式承建，来自中广核、中国核工业集团、中国核工业建设集团、中国东方电气集团和上海电气集团等500多家单位近50000名工程技术人员直接参与了项目建设。

该项目采用中国改进型百万千瓦级压水堆核电技术——CPR1000，规划建设两台单机容量为108.7万千瓦的压水堆核电机组。1、2号机组主体工程分别于2005年12月15日、2006年8月15日开工，先后于2010年9月15日、2011年8月7日投入商运，分别较建设计划提前91天和8天；两台机组设备国产化率分别达到55%、73%，平均国产化率达到64%；工程建设价268.2亿元人民币，较预算节省17亿元，单位造价1.23万元/kw。机组商运后状况良好，两台机组首个燃料循环均保持了连续安全稳定运行，能力因子达到98%，未发生非计划停机停堆。截至2013年10月30日，两台机组分别安全稳定运行960、715天。迄今为止，该项目创造了国内外百万千瓦级同类型机组工期最短、造价最低的世界纪录。岭澳二期的建成，



中广核岭澳核电站二期

宣告中国完全有能力自主建好百万千瓦级核电站，也充分说明“引进、消化、吸收、再创新”是一条成功的核电发展之路。

五大创新成果推动核电设计和建造水平跨越式提升

据介绍，岭澳核电站二期工程在机组安全性、运行控制和汽轮发电机组等方面进行了系统性集成创新，实施了包括采用先进核燃料组件、数字化控制系统和先进主控室、半转速汽轮发电机组等15项重大技术改进在内的300余项技术改进与创新，使核电机组的安全性及各项技术经济指标均达到或优于国际同类型型的先进水平，在工程设计、设备制造、施工、调试与项目管理等领域取得了一系列科技创新成果。其创新成果可归纳为五个方面：

第一，首次自主完成百万千瓦级核电机组从总体设计、初步设计到详细设计的全过程、全范围设计，实现由外方为主设计到全面自主设计的跨越，攻克多项关键技术难题，通过系统集成创新，形成我国首个自主品牌的全套百万千瓦级压水堆核电技术CPR1000，使我国成为世界上少数几个具备大型压水堆核电站设计能力的国家之一。

关键技术一：首次自主实施了全厂数字化仪控系统（DCS）和自主设计先进主控室，实现了我国百万千瓦核电站由模拟控制到全数字化控制的技术跨越；国内率先在核电机组初始堆芯采用AFA3G先进核燃料组件，使我国核电机组初始堆芯先进核燃料组件的应用达到世界领先水平。

关键技术二：在国内首次应用世界上先进的状态导向事故处理规程（SOP），基于DCS技术实施数字化SOP，在全球同类机组中属首次。关键技术三：采用了氦浓度探测改进、增设超设计基准事故工况下消氢措施、稳压器卸压功能延伸技术、一回路放射性高自隔离、安全壳过滤排放系统、安全壳地坑滤网防堵塞等一系列严重事故预防和缓解措施，显著降低了核电站的堆熔概率、大量放射性释放概率，提高了机组的安全性。

关键技术四：通过一系列改进使核电机组压力容器的使用寿命从40年提升到60年，标志着我国核反应堆压力容器性能达到国际先进水平；首次自主应用百万千瓦级半转速汽轮发电机组技术，创新采用弹性隔振基础、汽机冷端优化等技术，机组电功率从990MW提高到1087MW，电厂效率由34%提升到37%，显著提升了机组的经济性。

关键技术五：搭建了我国核电设计领域首

个三维协同设计生产与控制平台，使我国大型核电工程设计工具和技术能力实现了跨越式发展。第二，突破关键原材料制造技术瓶颈，攻克多项主设备关键制造工艺，填补多项国内空白，全面掌握核电关键设备的设计制造技术，首次成功实现百万千瓦核电反应堆压力容器、主管道、堆内构件、控制棒驱动机构、半转速汽轮发电机组等关键设备的“自主制造”，使我国成为世界上少数几个具备百万千瓦压水堆核电机组成套设备生产能力的国家，核电装备制造跻身世界一流行列。

依托岭澳二期，中广核联手国内核电产业链上下游单位对核电设备高端材料进行自主研发，在国内首次形成百万千瓦级核电站大、中、小型铸件、核级钢板、核级管件的成套供应能力，核心原材料不再受制于国外，为我国核电事业的可持续发展奠定了坚实基础；自主开发关键制造工艺，成功应对百万千瓦级核电机组主设备超重大、加工要求超精细的高端技术难题，首次实现主设备完全自主制造，大幅提升装备制造能力；自主研发了百万千瓦级核电设备制造所需的核心工艺装备和实验设备，开发反应堆压力容器加工、焊接、检测和高压试验等高压工艺装备380余项，研制堆内构件焊接、热处理、机加工、测量和工厂试验等专用装置170余项，填补了多项国内空白。

第三，自主开发多项施工工艺、工法，全面

掌握百万千瓦核电机组建设核心技术，实现百万千瓦核电站主回路安装自主化。

自主开发了主设备柔性施工逻辑、主泵提轴托轴方案进行核回路冲洗、主设备安装三维精密就位等6项国际上领先的主回路施工工艺，优化了施工工期，主回路安装一次合格率达到了99.3%，全面实现百万千瓦机组主回路安装自主化；研发了国际上领先的筏基大体积混凝土整体浇筑技术，工程质量得到明显提高；开发了不锈钢覆面后置法、装卸料机安装、燃料输送系统安装、半转速汽轮机组等16项新的施工工法，改善了施工质量，提高了施工效率。经过岭澳二期工程建设，我国已全面掌握了百万千瓦核电机组建设的核心技术，核电机组建安技术水平迈入国际领先水平。

第四，首次自主编制全范围的百万千瓦核电机组启动试验程序，自主研发系列试验设备和分析软件，掌握百万千瓦核电站调试启动核心技术，首次全面实现百万千瓦核电机组调试启动自主化。

首次研发出适用于DCS平台下的反应堆保护和控制系统调试仿真装置，机组瞬态试验一次成功；成功研发了核岛性能试验分析验证软件和工具，形成完整、规范、标准化的CPR1000核岛性能试验文件，在国内核电行业属首次；国内首创并实施了核电机组半速机整体启动与联调试验等19项科研创新，解决了多项调试重大技术问题，取得了半速机冲转、机组调频、并网、发电机甩负荷等重大试验项目均一次成功的突出业绩。

第五，创新应用工程总承包（EPC）模式，成立我国首家集核电工程设计、设备采购与成套、建安施工管理、调试启动等业务于一体的专业化核电AE公司，构建设计、建造的一体化项目管理平台，首次提出并应用项目管理“六大控制”体系，实现了项目精细化管理，使我国核电建设与管理进入世界一流水平。

创新项目管理知识理念，完善了核电项目“进度、成本、安全、质量、技术、环境”六大控制体系，构建了设计、采购、施工、调试一体化的项目管理平台，实现了项目精细化管理；实践纵深防御的核安全文化，构建完善的三层核岛安全管理体系和两级QA三级QC两级质保与控制体系，创建国内核电建设安全质量水平新标杆；构建设计、采购、施工、调试及进度、成本、资源一体化的项目管理平台，应用赢值手段，实现了项

目标化与精细化管理，在社会成本大幅上升的大环境下，创造了同类型机组建设的最低造价纪录；建立和完善了我国核电工程建设管理制度和技术标准体系，形成了完整的CPR1000核电企业标准系列，编修订国家行业标准433项，推进了我核电建设的标准化。

中广核岭澳二期强力带动行业科技进步

中广核岭澳二期在推动相关领域或行业科技进步上发挥了巨大的作用。岭澳二期全面提升了我核电自主设计能力和水平，形成了我国首个自主品牌改进型百万千瓦级压水堆核电技术——CPR1000，为我国成为世界上少数几个具备百万千瓦级压水堆核电工程自主设计能力的国家之一。岭澳二期建设中形成、积累的设计与设备制造技术、建设与调试运营技术、项目管理技术等系列科技成果已经全部应用于红沿河、宁德、阳江、防城港等22台同类型核电机组建设中，为推进我国核电批量化建设，也为我国自主三代先进核电技术的研发奠定了坚实基础。

岭澳二期促进了我国核电装备制造基地全国布局的形成，形成了以一重、二重和上重为产业龙头的大型铸锻件和反应堆压力容器制造基地，以东方电气、上海电气和哈尔滨电气为产业龙头的核电设备制造基地，以沈阳鼓风机集团、中核苏阀和大连大高阀门为代表的核级泵阀制造基地，使我国成为世界上少数几个具备百万千瓦级核电设备成套制造能力的国家，极大提高了我国装备制造制造业跻身世界先进水平。

岭澳二期完善了我国核电技术标准体系，培养了一批高水平的专业人才队伍，为国家核电发展战略的实现提供了技术和人才保障。

2013年7月3日，岭澳二期工程科技成果通过由中国核能行业协会院士等14位业内资深专家组成的委员会鉴定，认为：岭澳二期是我国第一个全面实现自主设计、自主制造、自主建设、自主运营的百万千瓦级核电工程，工程建设过程中实现了几十项重大技术改进和创新，以及大型核电工程建设管理模式的创新，核电站的安全性及各项技术指标均达到或优于国际同类型型的先进水平，实现了国务院会议确定的核电自主化依托项目的建设目标。