

改革开放四十周年纪念特刊·开放共赢

中国智慧点亮“人造太阳”

——我国以平等身份参与国际大科学工程ITER计划

本报记者 房琳琳

国际热核聚变实验堆(ITER)俗称“人造太阳”，作为托卡马克超导装置，它将用强磁场约束高温等离子体，最终实现核聚变能量的稳定可控释放，预计在2050年前后实现核聚变商业应用，从而造福人类。

中国2003年正式开始加入谈判，2007年ITER组织成立。中国作为理事会“七方”成员之一，与欧盟、印度、日本、韩国、俄罗斯和美国共同资助这一项目，承担项目工程建设阶段18个采购包的制造任务。

现任ITER组织总干事伯纳德·比戈称，“中国是非常非常好的合作伙伴”。欧盟聚变联盟负责人托尼·多内额认为，中国已经在很短的时间内成为核聚变科学领域的重要力量。获得如此肯定和赞许的同时，中国这十一年学到了哪些宝贵经验？科技日报记者近日采访了中国国际核聚变能源计划执行中心主任罗德隆，他是中国参加ITER计划谈判代表团重要成员。

典型案例

最大望远镜阵列 我们不缺席！

本报记者 房琳琳



中方主导研发的SKA首台正样样机(SKA-P)

一片雪花落在地上产生的能量，比来自宇宙背景的电磁能量都要强。现在，人类历史上最大望远镜阵列——平方公里阵列射电望远镜(SKA)，就是要建设地球上能倾听微弱宇宙“声音”的最灵敏耳朵。

由成千上万个射电接收机结合形成的SKA，将通过其前所未有的高灵敏度，让天文学家得以洞察大爆炸后的第一个恒星和星系的形成与演化、宇宙磁场的作用、重力的本质，甚至地外生命。

科技部副部长王志刚在2018年7月出席“中南科学家高级别对话会”时指出，SKA将是未来50年内天文领域最大的项目，是全人类共同关心的、了解人类过去又研究人类未来的重大项目，将极大推动人类在天文观测和物理等领域的科学研究，解决人类共同关注的问题。

科技界早期介入，牵头成立SKA国际组织

在接受科技日报记者采访时，SKA天线工作包国际联盟主席、中国电子科技集团公司SKA办公室副主任王枫说：“中科院国家天文台等科研机构的科学家早期积极参与了SKA的活动，并持续为SKA科学目标和项目论证作出贡献。中国电子科技集团第五十四研究所与国家天文台共建射电天文技术联合实验室，在科技部支持下，长期持续跟踪并深度参与了SKA建设准备阶段的研发任务。”2012年，经国务院授权，科技部代表中方加入SKA建设准备阶段的政府间谈判。

国家遥感中心SKA中国办公室主任王琦认为，中方科学家从一开始就介入SKA的科学研究，为我国科技主管部门继续推动SKA国际组织的成立，以及协调业界继续积极参与SKA第一阶段的工程建设，奠定了良好的基础。

“坚持自主研发与国际合作并重，是中国特色自主创新的自觉之路。”科技部国际合作司司长叶冬柏表示，大科学装置的兴起和大科学计划的推进，正不断推动中国前沿科技探索走进新时代。

担负大国责任，发出中国声音

目前，SKA的选址已在澳大利亚、南非和非洲南部8个无线电静区。在SKA对外发布的11个工作包中，中方参与了天线(DSH)、低频孔径阵列(LFAA)、中频孔径阵列(MFAA)、信号与数据传输(SaDT)、科学数据处理(SDP)、宽带单像素资源(WBSPF)等6个国际工作包联盟的研发工作。

2017年10月17日，王枫当选SKA天线工作包国际联盟主席，同时联盟确定中国射电天文技术联合实验室(JLRAT)接替澳大利亚联邦科学与工业研究组织(CSIRO)成为该国际联盟牵头单位。目前中方正带领来自南非、意大利、英国、法国等10个国家的20家单位，共同开展SKA天线的国际联合研发工作。

科技部官网撰文称：“这是中方首次牵头国际大科学工程核心工作包研发工作，全面主持主导工程核心技术研发，是中方在引领和牵头提出国际大科学工程中的有益尝试。”

2018年2月6日，由中方主导研发的SKA首台正样样机(SKA-P)在中国电子科技集团公司第五十四所工程现场举行出厂仪式，科技部官网撰文认为：“SKA-P成功研制是SKA工程研发的一个重大成果，具有重要里程碑意义，必将在SKA整个发展历程中留下浓墨重彩的一笔。”王琦安对记者说：“中国主导SKA核心技术研发，增加了在国际组织中的话语权，正用科技实力树立新时代中国形象。”

(本版图片来源于网络)

国际化+标准化，磨刀不误砍柴工

ITER计划是规模仅次于国际空间站的国际大科学工程计划，自1985年发起动议以来，已经持续推进了20余年，是目前全球规模最大、影响最深远的国际科研合作项目之一。

一个从无到有的国际大科学工程计划，难度超乎想象！

在位于法国南部圣保罗-莱昂斯镇的180公顷项目工地上，来自“七方”的工程团队，每天都面临着繁杂琐碎的沟通、协调、工程管理和统筹安排。

中方一开始并未参与实验堆的设计，正式加入ITER组织后最难的是，学会与国际合作伙伴在同一个话语体系和工作机制中保持平等对话，全权参与。

罗德隆带领团队用了整整三年时间，编制和推演了一套与ITER组织机制完全契合的标准化项目管理体系。

细到什么程度呢？比如，一颗螺丝由哪里生产，怎么运送到现场，经何人，在什么时间安装，每一步都有明确的标准记录，出现问题时，可以完整追溯，以确保在未来运行实验堆时，有针对性地查找问题所在。

“磨刀不误砍柴工，事实证明，此后的所有项目管理、协调工作，都在同一个话语体系和标准体系下进行，节省了大量的沟通成本，大幅度提高了工作效率。运行管理的国际化，为中方后来在关键时刻解决总体工程难题，提供了机制和时间保证。”

突破工程瓶颈，“中国造”获点赞

中国承担的18个采购包，包括了磁体支撑、校正场线圈系统、磁体馈线系统、气体注入系统、诊断系统等重要组成部分。按计划，该项目所需的所有大型部件将于2021年到位。

总干事比戈认为中国交付相关产品“按时保质”，堪称合作各方的榜样。“中国造”在ITER组织内部为何享有如此声誉？罗德隆给记者介绍了一个有意思的例证。

在最初设计版本中，蒸汽汽凝罐被设计成一个整体，安置在整个装置的顶部。但在推进中，发现这个设计存在较大安全隐患，必须将蒸汽汽凝罐分解成4个，在地基建起来以前，预先埋入地下。

这一设计上的改动，将蒸汽汽凝罐的生产计划和供货时间都大大提前。按照程序，ITER组织对所有参与方公开招标。火烧眉毛了，必须要攻克这个难关！“该出手时就出手，中方有信心攻关！”核聚变中心立刻组织国内相关单位，提出了一整套符合实际的解决方案——从制造能力，到制造成本，再到供货时间，都符合甚至超出ITER组织的预期，综合考察后，中方一举中标。

从以前被动承担制造部件任务的“知其然”，到重新参与优化设计环节的“知其所以然”，我们学习到了宝贵知识、设计理念和关键经验，与ITER组织建立了双赢的局面。

人才培养有序，组织管理有方

ITER装置构成相当复杂，需要超前技术予以支撑。18个采购包制造任务，由国内上百家科研院所和企业承担。

在“ITER十年——回顾与展望”会议上，中科院院士万元熙说：“中国的超导技术因ITER得到长足发展，如高功率的连续波加热、遥控机器人维护以及材料、大型低温系统、大型电源……中国在核聚变各个领域发展迅速，有些走到了世界前列。”

十一年前，以ITER计划为契机，为推动国内人才培养，国家四部委开展了人才培养计划——4年时间培养1000位工程、物理和管理人才，现在，这批人正在担纲中国核聚变的伟大事业。

我国先后建成并升级改造了中国环流器二号A(HL-2A)和东方超环(EAST)。前者2009年在国内首次实现高约束模式运行；后者2017年首次实现5000万度等离子体持续放电101.2秒的高约束运行，创造世界记录，2018年再次创下了1亿度等离子体运行的记录。

这些实验成果，为未来ITER运行及“中国聚变工程实验堆CFETR”的工程和物理设计提供了重要的实验依据与科学支持。与中国核聚变技术能力同步提升的，还有大科学工程项目计划的管理水平大跨步前进。

十一年来，ITER组织中中方职员数量持续上升，目前比例已经超过9%，仅次于欧盟。

罗德隆认为，借助参与ITER项目，中国培养了一大批懂得国际规则的工程项目管理人才，为未来中方牵头国际大科学工程计划奠定了人才基础。“目前，我们还应培养和输送更多高层次管理人才到国际组织中去，以期在科技外交和开展国际合作中，掌握更多话语权，发挥更大的影响力。”

倒逼企业创新，尖端工业品走出国门

总干事比戈说，ITER对于促进经济发展和鼓励创新具有十分重要的意义。通过工业投资，企业得以根据项目需求，大量生产一些原本需求量很小的材料，并学会如何制造承建的组件，从而推动生活和生产多个领域的发展。

罗德隆对此十分认同。一个发生在中国的案例，可以完美解释这一论断。

ITER装置需要一种超导导线，在0.8毫米直径内，需要拉出上万根细丝，这些细丝外面，还有多层不同材料的包层。关键是，这样精细的超导线圈，所需最短长度就要1公里。

为此，负责研发这个关键线材的西北有色金属研究院专门成立了一个公司，攻克关键技术。

“核心技术等不来、要不来、讨不来！怎么办？进口一批最先进的线材，就放在我这，告诉西北有色金属研究院，如果研制不出来，就用人家的做认证！”罗德隆说，激将法让研发团队感到了巨大压力，愣是在有限的10个月内，突破了卡脖子环节，拉出来的丝不仅长度足够，且性能更优异。

中国借ITER项目，填补了一项技术空白，该核心技术的自主知识产权牢牢在握！这种超导线材，后来不仅实际应用到了ITER装置上，还用在核磁共振设备等民用产品上，销往全世界，已经是世界公认的顶尖超导线材。

“推动企业开展尖端技术创新，参与国际平台的激烈竞争，直到在民用产品和经济领域占领制高点，这是我们加入ITER大科学工程的深远意义。”罗德隆感慨道。

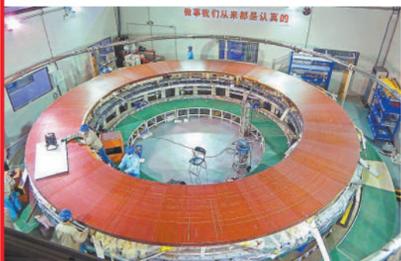
光影档案



2006年11月21日，ITER理事会“七方”成员国签署联合实施协定。



中方为ITER研发的大功率激光焊接系统。



中科院等离子体物理所负责ITER第六个采购包场线圈(PF6)的制造。



正在建设中的ITER装置

责编 聂翠蓉