

## ITER、GEO、SKA 亲历者讲述——

## 中国走向国际大科学合作前沿

在牵头选定大科学工程项目时，无论是以科学基础理论突破为导向，还是以产生重大实际社会效益为导向，都具有重大意义。归根结底，是要以科学目标为驱动，以高新技术的发展为支撑，实现合作共赢，造福人类。

## 深瞳工作室出品

采写：本报驻法国记者 李宏策  
本报驻南非记者 冯志文  
实习记者 龚茜  
策划：房琳琳 何屹

国际大科学计划和大科学工程(以下简称国际大科学计划)是世界科技创新领域重要的全球公共产品，也是世界科技强国利用全球科技资源、提升本国创新能力的重要合作平台。

改革开放以来，我国以发展中国家的身份有重点地选择了国际大洋发现计划(IODP)、人类基因组计划(HGP)、国际热核聚变实验堆(ITER)计划、地球观测组织(GEO)和平方公里阵列射电望远镜(SKA)等国际大科学计划，积极参与项目分工，并取得了重要突破。

2018年3月，国务院《积极牵头组织国际大科学计划和大科学工程方案》(以下简称《方案》)正式出台。

近日，多位直接参与国际大科学计划的亲历者向科技日报记者表示，随着综合国力及科技水平的不断提升，我国进入了广泛参与、积极发起国际大科学计划的大科学时代。

国际大科学计划有哪些区别于常规国际合作项目的特点？需要遵守哪些国际规则？中国在此过程中积累了哪些经验？中国的角色发生着怎样的变化？

跟随科技日报记者的采访，让我们一起走近国际大科学计划的亲历者这一特殊群体，感受他们的历史责任与使命担当。

## 由学习跟踪向并行发展的转变

以SKA为例，这是国际天文界计划建造并运行50年的世界最大综合孔径阵列射电望远镜，是全人类共同关心的、了解人类过去、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课题。

SKA是中国目前参与的重要国际大科学工程之一。作为倡导者、共同发起者、研制者，中国是SKA建设中不可或缺的重要力量。

30多年以来，中国政府、工业界以及射电天文科技界来自20多个国家的1000多名工程师和科学家共同参与了SKA的设计研发和科学问题研究，在SKA天文台国际组织创立和国际规则制定等事务中发挥了积极作用。

2017年，中国电子科技集团公司SKA办公室副主任王枫成功当选中频天线国际工作包联盟主席。2021年，在正式成为SKA天文台成员国后，中国对SKA建设的参与进入全新阶段。

这是我国在参与国际大科学计划过程中身份迈向新台阶的一个缩影。清华大学地球系统科学系长聘教授白玉琪在接受科技日报记者采访时介绍，GEO是目前地球观测领域规模最大、最权威的政府间国际组织。我国是GEO的创始国，同时也是四个联合主席国之一。GEO自成立以来，先后制定了两个十年战略执行计划。目前正在制定第三个十年战略执行计划。

科技部国家遥感中心把“对标GEO优先事项，深度参与GEO重点工作和合作项目，积极

向GEO各类工作组和专家组推荐中方专家代表”作为管理工作的重中之重，目前已经实现了20余个工作组中方代表全覆盖。

白玉琪介绍，当前正在运行的14个工作组中，中方4位专家担任组内联合主席。特别是在GEO第三个十年战略计划制定、全球综合地球观测系统(GEOSS)评估两项重点工作中，仅有中美两国成功推荐4名代表加入上述专项工作组。

参与这些国际大科学计划，让我国在基础理论研究、重大关键技术突破等方面逐步实现了由学习跟踪向并行发展的转变，进一步积累了我国在工程运行、管理与国际合作等方面经验，为我国牵头发起此类计划和工程提供宝贵借鉴。

## 在国际规则下提升中国影响力

在参与的国际大科学计划中，中方始终恪守国际承诺，企业和科研人员勇挑重担，与国际同行齐心协力，为计划和工程的顺利推进贡献中国智慧和力量。

2019年9月，中核集团牵头的中法联合体在北京签订了ITER主机安装一号合同(TAC1)，这是有史以来中国企业在欧洲市场中竞标最大核能工程项目合同，也是中国核能单位首次以工程总承包形式成功参与国际大科学工程项目。

ITER国际组织副总干事罗德隆对记者表示，实际上，中国负责的TAC1现场安装标段工程很重要、很关键，也很难。

该项目包括托卡马克主机超导磁体系统、磁体馈线系统等总装任务，装配部件数以万计，精度要求高、标准严苛。

中核工程联合体TAC1项目总指挥邵江在接受采访时说，其实，有的设备部件重量相当于四架空客A380飞机，对安装精度的要求极高，需要达到2—3毫米的级别。

“ITER安装工程中很多操作是全球首次实践，技术并不成熟，施工充满探索性。”邵江介绍，“很多施工工序是不可逆的，上百个复杂的安装环节容不得出现任何偏差。”

在ITER最近开展的一次质量保障检查活动中，TAC1施工团队的质量管理工作得到高度评价，得分名列前茅，中国施工团队荣获ITER最佳承包商称号。

ITER总建设师塞尔吉奥·奥兰迪对中方施工团队多次给予高度评价，称该团队非常出色，无论是安全、质量、进度方面都做得非常好。

ITER国际组织线圈电源主管工程师范仁晶也向记者介绍，ITER磁体电源系统是世界上最大的非常规磁体电源系统，总装机容量近2千兆伏安，是全球范围内首次设计并制造的如此大的非常规电源系统，需要从无到有地完成多种探索性挑战。

依托在ITER磁体电源系统中积累的经验，我国建成了目前国内最大功率的直流测试平台及专业的短路及稳态测试平台。

凭借在TAC1施工中建立的口碑，中国团队获得ITER国际组织的高度信任。中核工程联合体还争取到了更多的工作合同，并借此扩大了工作范围，参与到更多、更重要的施工工作中。

王枫告诉记者，在SKA研发的最初实施阶段，SKA中频天线研发联盟召开会议探讨射电望远镜天线工作频段指标，最初将频段定在14G赫兹。

但在商讨过程中，中方从有利于SKA工程项目综合性价比、实现SKA长远科学目标以及充分发挥中方的工程技术研发优势角度出发，提出把射电望远镜天线指标定到20G赫兹，得到联盟和国际同行的共同认可。

经过多年的投入和准备，中国主导的中频天线技术方案被国际评审委员会确定为SKA反射面天线唯一方案。

目前，中方团队(中国电子科技集团公司第五十四研究所)作为SKA中频天线结构的总承包方，正与来自意大利、西班牙和南非等国家的工程技术团队共同推动SKA中频阵列的建设工作，相关设备将陆续部署在位于南非的SKA中频阵列台址。

王枫表示，这是SKA目前最大的单笔实物贡献任务。中方已经克服很多工程技术研发的挑战并将在艰苦的环境下完成总承包的任务，这将是中方对SKA发展作出的重要贡献。

同样，在GEO刚刚结束的第61次执委会上，中国坚持“规则优先、共识优先”的准则，在年度奖项设置、秘书处工作评估等重要事项讨论中提出“先制定规则和制度，取得共识，然后再评估具体的实施计划的合理性和可行性”的工作方案，赢得了一致同意。

## 政策引导和制度保障越来越给力

国际大科学计划界普遍认为，政府和相关机构的支持是组织大科学计划的关键。政策制定者需要认识到该计划的重要性，并提供必要的预算和资源。

仍以SKA为例，国家遥感中心主任赵静在接受科技日报记者采访时表示：“中国一直是SKA的坚定倡导者和贡献者。”

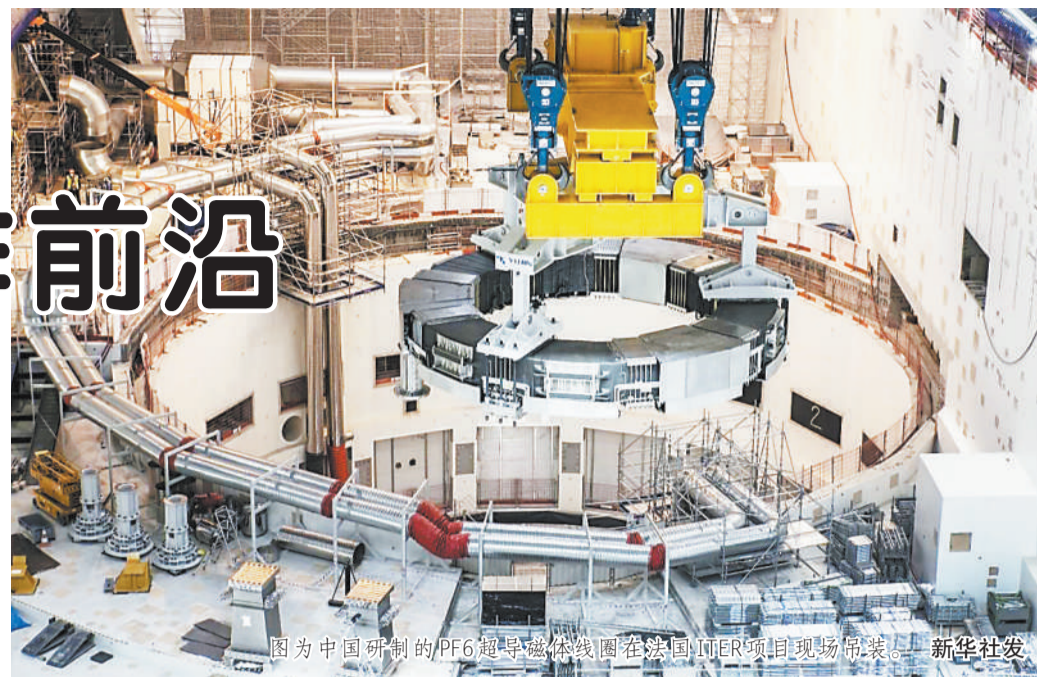
我国射电天文研究始于新中国成立之后。进入21世纪，随着我国综合国力的不断增强，射电天文学近年来发展迅猛，潜力巨大。

赵静介绍，“我们通过多种方式持续加大人才培养力度，积极推荐人员赴SKA天文台国际组织工作，为我国参加SKA建设和运行等工作提供人才保障，进一步积累我国在国际大科学工程运行、管理与国际合作等方面的经验，为我国牵头发起国际大科学工程提供经验借鉴。”

“与此同时，策划与管理在计划初期的作用不可替代。”白玉琪解释道，这是因为既需要有一支专业的策划团队负责明确目标、制定计划、预估资源需求和时间框架，还要有高效的项目管理团队和健全的多方合作机制，确保工作按计划进行。

南非夸祖鲁纳塔尔大学(终身)教授、南非科学院院士马寅哲推动了南非和中国基于SKA的天文合作，并担任中国—南非天文联合体共同主任一职。

在接受科技日报记者采访时，他说：“我八年前从英国来到南非，在夸祖鲁纳塔尔大学任教时，就在推动中南双边科技合作。当时，我主要把中国年轻的科研人员引进到南非的SKA先导项目来，让他们直接参与科研、直接上手干活，积累数据和处理一手数据的



图为中国研制的PF6超导磁体线圈在法国ITER项目现场吊装。新华社发

经验，以便为今后处理更多天线带来的数据做好准备。”

## 在竞争与合作中保持开放心态

《方案》明确的“三步走”发展目标的最后一步，是到本世纪中叶，培育若干项目，启动培育成熟项目，我国原始科技创新能力显著提高，在国际科技创新治理体系中发挥重要作用，持续为全球重大科技议题作出贡献。

在国际机构中，参与国之间要在工程建设、运行规则制定和科学目标实现等方面开展广泛深入持久的合作，但这个过程其实也充满着博弈。

王枫说，他多年的亲历反复证明这样一个事实——竞争与合作始终并存。“竞争主要体现在高新技术研发与设备研制生产方面。在研发建设过程中，竞争能让有关各方充分发挥各自特长和优势，没有竞争就没有高新技术的突破和高性价比的设备。面对激烈竞争，要想干得好就须争第一，赢得地位和话语权。”

能否“争第一”取决于对大科学项目宏观形势及科学目标的理解，更取决于在国际合作与竞争中，能否主导并提出独到的具有优势的工程技术方案，从而满足大科学项目的建设需求，充分发挥自己的优势和作用。

“非常重要的一点，要尊重、熟悉并适应普遍认可且行之有效的国际规则，既要始终保持合作开放的心态，又要注意保护自己的知识产权。这是赢得国际竞争的重要因素。”采访中，王枫反复强调这一点。

“在SKA建设准备阶段，在科技部的领导下，有关机构和专家深入参与了知识产权、采购等核心基础政策和流程制定，这也是中方在取得卓有成效的成果后能够成为牵头单位的重要基础之一。”王枫明确表示，越是有经验的团队，越能在多边合作中实现共赢。

中方在参与ITER运行的过程中同样如此。要协调各方共同完成一项极具挑战的大科学工程，特别是协调来自不同国家、代表不同利益、身处不同位置、拥有不同文化、抱有不同理念的各方工作人员，更绝非易事。

范仁晶直言，工作中需要牢牢把握“解决问题”的出发点。在协调十余个参与方开展团队合作时，需要在实事求是和公平公正的基础上，推动、协调、形成各方均可接受的统一方案，并不在碰撞中找到共同点并最终达成共识，让辩论变得“有建设意义”。

国际大科学计划在实施过程中经常面临种种挑战。

在刚刚召开的ITER理事会第32届会议上，ITER国际组织并没有回避当前面临的种种客观问题。

罗德隆表示，ITER项目的大量设备都是全球第一件(FOAK, first of a kind)，做起来都是摸着石头过河，没有经验可循，存在试错的可能，对精度的要求又非常高(通常要达到毫米级)，“能取得当前的成绩已经非常不易”。

罗德隆介绍，ITER国际组织将于2024年向ITER理事会提出实现产生第一等离子体目标的新的基准线。虽然时间有所延后，但总体上ITER项目不存在无法解决的困难，相信计划将持续推进。

SKA同样也面临延期问题。该计划第一阶段预计大约在2030年前建设完成。马寅哲说，由于这是大型国际合作项目，具体时间表由各种因素决定，所以SKA一期的具体完成时间还不确定，时间表有可能推后。

## 科学成果将会“层峦叠嶂般地涌现”

大科学是20世纪50年代国际科技界提出的概念。大科学主要表现为投资强度高、多学科交叉、实验设施(设备)配置昂贵且复杂、研究目标宏大等，具有多学科、多目标、多主体、多要素等特点，其复杂程度、经济成本、实施难度、协同创新的多元性等往往都超出一国之力。

罗德隆总结了我国对ITER的三个方面的贡献：实物贡献、人才贡献和现场安装贡献。

罗德隆介绍，中国承担了ITER项目18个主采购包，在质量和进度上都有口皆碑，其中有些设备已经开始服役，验收的效果非常好。中国在实物贡献上从没有影响到ITER项目的关

键路径，ITER国际组织前任总干事比戈就此称“中国是合作的典范”。

此外，在ITER国际组织的工作人员中，中国职员占比近9%，是除欧盟外数量最多的。比戈希望中方派遣更多人才到ITER国际组织贡献力量，ITER国际组织现任总干事巴拉巴斯奇也对中国职员的表现高度认可。

马寅哲介绍道，南非非MeerKAT(即南非的SKA先导项目)在中性氢巡天、银河系结构、21厘米宇宙学等领域已做出了成果，但这些都只是整个SKA全部运行能力的1%。“也就是说，SKA第一阶段的科学成果将会层峦叠嶂般地涌现，并远远超过目前的MeerKAT所实现的成绩。”

王枫认为，通过长期艰苦的努力和国际交流合作，中国与射电天文学相关的高新技术开发和设备研制水平有了显著进步，建立起了“中国智造”的形象，赢得了国际声誉。

## 国际合作是实现大科学目标的重要途径

科学无国界，创新无止境。国际科技合作对于应对人类面临的全球性挑战具有重要意义。

“由于大科学计划涉及的问题通常超越了单个国家的能力范围，因此，国际合作是必不可少。”白玉琪坦言，“例如，GEO正在推动地球观测在全球环境和气候变化应对行动中发挥重大作用。这需要环境学家、气象学家、经济学家、计算科学家、社会管理学家以及政府部门代表等的共同协作。”

同样，利用SKA也能开展多方面、多渠道的科学探索。国际SKA科学工作组目前定了大概8—9个探索方向。“单个国家体量不够，不能有效发挥SKA本身的性能，全世界的合作对SKA这样的大科学项目意义重大。”马寅哲表示。

其中，中国和南非两国在SKA的合作是在整个SKA的框架下进行的，对于提高两国在射电天文、天文物理和计算等领域的科研水平意义重大。显然，在这个项目上两国优势互补。

“我从事的是‘桥梁’工作，就是参与对科学数据和人才资源的配置。资源配置对了，自然就会产生国际合作的成果。”马寅哲总结道。

ITER国际组织总干事办公室战略协调官苏明星说，ITER是当前全球规模最大的大科学国际合作工程项目，虽然地缘政治环境发生了变化，但ITER内部仍保持着良好的合作环境。

“多元的成员构成和共同的目标，确保了各方都保持高度合作精神，让ITER始终保持在既定轨道上向前运行。”苏明星说。

白玉琪介绍：“今年，中国联合主席领导制定了中国GEO年度工作计划，通过组织开展中国GEO系列活动、系列宣传等工作夯实国内基础，在国际贡献上下功夫，在治理理念、公共产品、项目成果、人才培养4个方面着力，以提升中方在GEO中的引领力。”

## 归根结底还是以科学目标为驱动

目前，我国已通过研究遴选并启动了首批国际大科学计划培育项目，比如国际月球科研站。

2016年，中国提出国际月球科研站的设想，它是在月球表面与月球轨道长期自主运行、短期有人参与可扩展、可维护的综合性实验设施。2021年3月，中俄两国政府签署了《关于合作建设国际月球科研站的谅解备忘录》，启动国际月球科研站的合作。

未来我国如何更多地实现主导和牵头？

王枫认为，在牵头选定大科学工程项目时，无论是以科学基础理论突破为导向，还是以产生重大实际社会效益为导向，都具有重大意义。“归根结底，是要以科学目标为驱动，以高新技术的发展为支撑，实现合作共赢，造福人类。”

他指出，要成为牵头国家，必须具备的条件包括但不限于在相关科学领域占有一席之地，有丰富的科学研究成果，有足够的高新技术成果积累，有坚实的科学与工程人才支撑，以及有大量的国际科技合作管理与涉外法律人才。

“但最重要的是，在完成大科学工程建设后，如何充分发挥‘大’装置的作用，做出系列科学成果。”王枫说。



未来SKA-M1d望远镜的合成图像。图源：SKAO