



白春礼

前不久，中央和国家机关“强素质·作表率”读书活动2023年第10期主题讲座（总第162期）在京举办，并在支部工作APP首播，随后在“学习强国”学习平台、中国出版集团相关新媒体平台播发，备受关注。

“一带一路”国际科学组织联盟（ANSO）主席、中国科学院学部主席团名誉主席、中国科学技术大学和中国科学院大学名誉校长白春礼院士以“国之重器与科技创新”为题作讲座。白春礼院士带领大家深入学习领会习近平总书记关于科技创新的重要论述，详细介绍了重大科技基础设施的战略地位以及国内外发展态势，系统梳理了我国重大科技基础设施建设取

得的一系列重要成果，特别是在面向世界科技前沿、面向经济主战场、面向国家重大需求、面向人民生命健康以及人才培养集聚、国际科技合作方面发挥的独特作用。活动现场推荐了中国人事出版社出版的《当代科学技术前沿知识》、中译出版社出版的《中国高度：大国重器背后的创新科技》作为延伸阅读图书。

中央和国家机关“强素质·作表率”读书活动由中央和国家机关工委、中央宣传部（国家新闻出版署）主办，已连续举办16年。读书活动由中国出版集团有限公司承办，中国出版传媒商报社、“学习强国”学习平台协办。

# 国之重器与科技创新

■白春礼（“一带一路”国际科学组织联盟（ANSO）主席、中国科学院学部主席团名誉主席、中国科学技术大学和中国科学院大学名誉校长）

“工欲善其事，必先利其器。”科学研究作为一项高度专业化的工作，尤其需要借助有力的工具。重大科技基础设施是为探索未知世界、发现自然规律、实现技术变革提供极限研究手段的大型复杂科学研究系统，是突破科学前沿、解决经济社会发展和国家安全重大科技问题的物质技术基础。通俗来讲，这些设施就像是人类眼、耳、手等感官知觉能力的延伸，是对诸如距离更远、信号更弱、时间更短、能量更高、温度更低、压力更强、规模更大等观测能力极限的突破，是现代前沿科学研究必不可少的条件，所以被形象地称为“国之重器”，在推动科技创新、服务经济社会发展方面发挥重要作用。

国家重大科技基础设施也称大科学装置，按照不同的用途，一般分为三类。

**第一类是专用设施**，主要为特定学科领域的重大科学技术目标而建设的研究装置，如北京正负电子对撞机、超导托卡马克核聚变实验装置（“人造太阳”，EAST）、高海拔宇宙线观测站、500米口径球面射电望远镜（“中国天眼”，FAST）、武汉国家生物安全实验室等。它们有明确具体的科学目标，追求国际基础科学研究的最前沿。

## 重大科技基础设施发展态势

国际上，重大科技基础设施建设起源于二战时期的美国，至今已有80多年的历史。长期以来，欧美日等主要发达国家和新兴经济体都高度重视重大科技基础设施的建设发展，将其视作为本国科技发展的核心竞争力，持续加大投资力度，加强设施建设和战略布局，保持、培育和发展领先优势。

我国高度重视重大科技基础设施的建设工作，上世纪60年代，我国科学界开始酝酿用于基础研究的设施，部署并启动了高能加速器、短波授时、2.16米天文望远镜等装置的预研工作。在此基础上60年代建设的长短波授时台，可以说是我国第一个大科学装置。北京正负电子对撞机的建成是我国重大科技基础设施建设的重要里程碑。90年代以后，我国经济建设快速发展，国家提出科教兴国发展战略。在国家计委支持下，郭守敬望远镜、超导托卡马克核聚变实验装置、中国地壳运动观测网络等新一批设施项目启动建设。“十一五”之后，国家把重大科技基础设施建设作为提升创新能力的重要举措，形成了按五年规划推进建设的制度。

## 面向世界科技前沿，重大科技基础设施发挥着策源地作用

爱因斯坦曾预言：“未来科学的发展，无非是继续向宏观世界和微观世界进军。”这揭示了世界科技前沿在重大科技基础设施的支撑和推动下，不断向宏观拓展、向微观深入的趋势和特征。宏观世界大到天体运行、星系演化、宇宙起源，微观世界小到粒子结构、量子调控，背后都离不开重大科技基础设施的支撑。

上世纪中叶以来，科学技术发展中出现了一个重要的新趋势，就是许多领域研究前沿的突破，都依赖于在极端条件下工作的重大科技基础设施，这些设施成为做出重大原创成果、实现关键核心技术突破、抢占科技竞争制高点的利器，也成为全面体现一个国家综合实力和科技创新能力的重要标志。据统计，20世纪以来诺贝尔物理学奖中有20余项是依托重大科技基础设施取得的。100多年来诺贝尔物理学奖的成果，大概1950年以前，只有1项是来自于重大科技基础设施。到1970年以后，就有超过40%是来自于重大科技基础设施，比如天文望远镜、科学卫星、加速器等等。到了1990年以后，这个比例高达48%。

例如，当前，宏观宇宙学的研究焦点主要是“两暗一黑三起源”，其中“两暗”是指暗物质、暗能量；“一黑”是指黑洞；“三起源”是指宇宙起源、天体起源和宇宙生命起源。这些方面一旦取得重大突破，就将使人类对宇宙的认识实现重大飞跃，可能引发新的物理学革命。这些方面的研究都离不开重大科技基础设施的支撑。

**暗物质暗能量研究成为各国关注焦点**

暗物质和暗能量，被称为是21世纪物理学的两朵“乌云”，成为当前研究的热点，世界科技大国都在积极布局开展这方面的研究和探测。我国积极开展暗物质、暗能量研究。中国科学院于2015年成功研制发射了“悟空号”暗物质粒子探测卫星，搭载了目前国际上最高分辨、最低本底的空间高能粒子望远镜，比美国的阿尔法磁谱仪和费米太空望远镜观测能量上限高10倍。目前，“悟空号”已服役近8年，先后发布了三批科研成果，相继在正负电子、质子和氦核宇宙线

**第二类是公共实验平台**，主要为多学科领域的基础研究、应用研究提供支撑性平台，例如上海光源、中国散裂中子源、强磁场实验装置等。它们为多个领域的大量用户提供实验平台和测试手段，为相关基础科学研究及其应用提供关键支撑。

**第三类是公益基础设施**，主要为经济建设、国家安全和经济社会发展提供基础数据和信息服务，属于非营利性、社会公益性设施，如中国遥感卫星地面站、长短波授时系统、西南野生生物种质资源库等。

重大科技基础设施是国家基础设施的重要组成部分，但它不同于一般的基本建设项目，具有鲜明的科学和工程双重属性，其设计、研制及相关技术和工艺具有综合性、复杂性、先进性，有时具有唯一性，知识创新和科学成果产出丰硕，技术溢出、人才集聚效益非常显著，因此往往成为国家创新高地的核心要素。同时，它也不同于一般的科研仪器中心或者平台，而是需要自行设计研制专用的设备，体量大、投资大、能力强、技术复杂先进、生命周期长，具有明确的科学目标，体现了国家意志，反映了国家需求，需要国家统筹规划、统一布局、统一建设、统筹运行与开放。重大科技基础设施也代表着国家的形象，是国家科技实力、经济实力乃至软实力的重要标志。

党的十八大以来，以习近平同志为核心的党中央，坚持把创新摆在党和国家发展全局的核心位置，高度重视国家重大科技基础设施建设，持续加大投入力度、强化前瞻系统布局，国家重大科技基础设施建设取得了跨越式进展。

FAST是目前世界上最大单口径、最灵敏的射电望远镜，接收面积达到25万平方米，相当于30个足球场。FAST目前已经发现了超过800颗脉冲新星，是同一时期国际上所有其他望远镜发现脉冲星总数的3倍以上，产生了一系列具有国际影响力的科学成果。

经过多年的努力，我国已经建成体系较为完备的重大科技基础设施，布局建设的77个国家重大科技基础设施中，30多个已建成运行，部分设施迈入全球第一方阵。

我国科学家利用重大科技基础设施，面向世界科技前沿、面向经济主战场、面向国家重大需求、面向人民生命健康，取得一系列重要成果。同时，重大科技基础设施在人才培养集聚和国际科技合作方面也发挥了独特作用。

测量方面获得国际领先成果，比如获得了国际上精度最高的电子宇宙射线探测结果，发现能谱上存在一处新的结构可能与暗物质有关，一旦被后续数据确认，将是天体物理领域的突破性发现。

**黑洞研究打开宇宙和天体起源的新视野**

2023年4月，中国科学院上海天文台在《自然》杂志发文，成功实现了对M87黑洞及其周围吸积流和喷流的共同成像探测，首次发布黑洞的“全景照”。在这次对黑洞的研究中，中国科学院上海天文台领导的国际科研团队利用全球各地总共16个观测站，在不同于此前事件视界望远镜的观测频段，完成了成像与科学分析，实现了对M87黑洞及其周围吸积流和喷流的共同成像探测，给该黑洞及其周围的“环境”拍摄了“全景照”，并首次显示出了中央超大质量黑洞附近的吸积流与喷流起源之间的联系。

我国积极开展黑洞探测工作，2017年，中国科学院发射中国首颗X射线天文卫星“慧眼”，2024年1月，发射了具有高灵敏度加大视场特性的“爱因斯坦探针”卫星。此外，我国还将实施“黑洞探针”“天体号脉”等探测计划，将有力推动我国在黑洞研究方面取得一批重大原创成果。

**引力波开辟了探究宇宙起源的新途径**

我国近年来先后启动了“太极计划”“天琴计划”等空间引力波探测计划。2019年，中国科学院成功发射“太极一号”卫星，2021年，“太极一号”已圆满完成全部预设实验任务，实现了我国迄今为止最高精度的空间激光干涉测量，完成了国际首次微牛量级射频离子和霍尔两种类型电微推技术的全部性能验证，并率先实现了我国两种无拖曳控制技术的突破，达到我国最高水平。中国科学院正在建设的阿里原初引力波观测站，是世界上海拔最高的原初引力波观测站。

2023年6月，中国科学院国家天文台和北京大学合作，利用“中国天眼”FAST探测到纳赫兹引力波存在的关键性证据，是纳赫兹引力波搜寻的一个重要突破，相关成果在《天文和天体物理学研究》上发表。

## 面向经济主战场，重大科技基础设施是高新技术产业发展的新引擎

我国重大科技基础设施建设和运行过程中，解决了一批受制于人的核心技术难题，产出了一批具有全球影响力的重大科技成果，为科技前沿、国家战略需求提供有力支撑，同时具有辐射带动和产业集聚效应，引领和促进相关产业发展，成为高新技术产业发展的新引擎。主要体现在三个方面：

**一是关键核心技术溢出效应。**重大科技基础设施在建设和运行中发展出若干共性关键技术、前沿引领技术、现代工程技术和颠覆性技术，这些技术有利于不断提升传统产业的技术水平，及催生新兴产业。

例如，被称为“人造太阳”的全超导托卡马克核聚变实验装置（EAST），其建设运行为我国在超导技术研发方面抢占了先机。EAST团队在参加国际热核聚变实验堆（ITER）的建设过程中，超导电缆制网关键技术攻关取得突破，实现聚变用不锈钢铠甲产业化，形成具有自主知识产权的导体集成技术，推动其合作企业西部超导上市。

在“中国天眼”（FAST）工程需求的牵引下，实现了高精度索结构生产的配套体系，推动了我国家索结构工业由粗放式管理向精细化管理的转变，该生产体系已经在国内外多个桥梁建设项目中得以应用。FAST有4450块反射镜面，6670根主索构成的索网，是世界上跨度最大、精度最高的索网结构，其500兆帕的超高应力幅，是国家标准的2.5倍，钢索弯曲次数高达200

## 面向国家重大需求，重大科技基础设施搭建起解决需求的重要平台

现代社会的特点之一是各种活动对于基础数据和基础信息的依赖性，没有必需的基础数据和基础信息，现代社会的运作是不可想象的。同时，国家对自然资源、人力资源以及各种硬件资源的利用效率，也在很大程度上依赖于各种基础数据和基础信息。重大科技基础设施在数据和各种信息的收集利用方面发挥着独特的重要作用。

例如长短波授时系统，承担我国标准时间的产生、保持和授时发播任务，代表我国参加国际原子时合作，执行空间发射授时保障任务，使我国火箭发射、战略武器试验，有了准确可靠的时间频率信号，依托该设施完成了300多次发射任务；兰州重离子研究装置，实现从质

## 面向人民生命健康，重大科技基础设施铸就“健康坚盾”

随着对基因、细胞、组织等的多尺度研究不断深入，以及基因测序、基因编辑、冷冻电镜等新技术的进步，大大提升了生物大分子结构研究的效率，生命科学领域研究正在从“定性观察描述”向“定量检测解析”发展，并逐步走向“预测编程”和“调控再造”。分子生物学、基因组学、合成生物学等领域成果不断涌现，全面提升了人类对生命的认知、调控和改造能力。

重大科技基础设施在解决重大疾病防治、治疗方面发挥重要作用。比如，在埃博拉病毒、H7N9禽流感流行时期，科学家利用上海光源迅速解析病毒结构，为科学防控疫情作出了重要贡献。再如，中国科学院近代物理研究所依托兰州重离子研究装置相关技术，成功研发了国内首台具有自主知识产权的医用重离子加速器，已在国内推广7台。首台产品安装在武威重离子医院，已临床运行3年，到目前为止已治疗了860例癌症患者，为我国人民健康带来福音。而且创立了兰州科近泰公司，该公司专注重离子肿瘤治疗装置的研发、生产、运行维护、人员培训，是国际上五大重离子束肿瘤治疗装置供应商之一、三大重离子肿瘤治疗装置供应商之一。

将重离子基础研究成果转化成为现实应用，把科研

## 重大科技基础设施具有培养凝聚人才和促进国际科技合作的独特作用

栽下梧桐树，才能引来金凤凰。重大科技基础设施成为科技工作者提供良好的科研平台，因此也就成为凝聚人才、吸引人才的高地。在设施设计、建设和后续的运行中，也能够培养一大批工程技术人才。重大科技基础设施也是开展国际科技合作、实施国际大科学计划的重要平台。我国很多重大科技基础设施的建设运行中也引入了国际合作者，很多设施也都面向国外开放，依托设施开展联合研究、人员交流、人才培养，

当前，新一轮科技革命和产业变革突飞猛进，学科交叉融合不断发展，科学研究范式发生深刻变革，科学技术和经济社会发展加速渗透融合，国际科技竞争向基础前沿转移。

我国正处于加快实现高水平科技自立自强、建设世界科技强国的关键时期。面向未来，只有前瞻谋划和系统布局重大科技基础设施建设、不断夯实我国科技自立自强根基，并依托重大科技基础设施推动我国在基础研究和原创性引领性科技攻关中取得更大突破，打好关键核心技术攻坚战，才有可能把握新科技革命和产业变革的战略机遇期，实现从跟跑到并行甚至领跑的跨越发展，为全面建设社会主义现代化国家奠定坚实的基础。

万次，是由科研人员和企业合作设计完成的，后来应用在了国内外多个桥梁的建设中。

**二是为产业发展提供研究基础。**重大科技基础设施为开展基础研究和应用研究提供了重要平台。国内外科研用户、企业用户利用重大科技基础设施产出众多前沿研究成果，这些成果本身往往为解决行业发展的关键科学问题，部分成果通过转移转化，创造了巨大的经济价值。

2019年，上海光源助力中国本土企业百济神州自主研发的抗癌新药“泽布替尼”在美国上市，改写了中国抗癌药“只进不出”的历史。科研人员利用上海光源的实时X射线成像技术，揭示了电磁场与合晶晶体生长交互作用机理。在理论研究取得突破的基础上，发明了凝固过程电磁调控系列专利技术，后续加工制成的接触线成品性能国内外报道最高，并成功用于京沪高铁，相关装置及工艺在多家企业推广应用，实现规模化生产。

**三是设施集聚促进区域产业升级。**近几个五年计划，国家逐步在合肥、上海、北京、广东等地进行结构性布局，目前已形成多个设施集群并初步取得成效。重大科技基础设施集群是综合性国家科学中心和科创中心的重要组成部分，与高校院所、产业机构等深度融合，实现从原始创新、人才聚集到产业汇聚的创新生态系统。

子到铀离子全离子加速，提高了中国先进离子加速器物理及技术水平；利用离子束流，还可以为航天和国防任务中的关键核心元器件提供抗辐照检测和设计依据。

重大科技基础设施为解决自然灾害应对、环境污染治理等重大社会问题背后的科技难题，提供了重要条件支撑。比如在重大自然灾害遥感监测方面，2013年4月雅安芦山县地震发生后，遥感飞机4小时内获取灾区5000平方千米、0.6米分辨率遥感数据，并迅速分发给国家有关部门和四川省政府；2013年10月，澳大利亚发生森林大火，中国科学院利用中国遥感卫星实时监测火情及蔓延趋势，将分析结果和卫星数据提供给澳方，受到澳大利亚政府高层决策者以及救援人员的高度评价。

装置变成医疗器械，听起来只有一步之遥，做起来却非常困难。这个过程是基础研究促进科技发展的典范，也是大科学装置回报社会的典范。

医用同位素是一种核药原料，主要通过反应堆核辐照及加速器辐照产生。我国的医用同位素受制于核心技术、装备及创新研发等因素，约90%用于诊疗的同位素依赖进口。亟需通过创新性核心技术攻关，解决我国用于肿瘤诊疗的医用同位素关键技术瓶颈问题，规避我国医用同位素被“卡脖子”的风险。

阿尔法同位素靶向药物作为先进的癌症治疗手段，能够对转移、扩散的微小散在肿瘤实现精准、有效、安全地治疗，可与粒子束外照射实体肿瘤形成完美的互补，是目前医用同位素发展的科技制高点、也是国际放射治疗的热点和新趋势。

目前，中国科学院近代物理研究所在国家有关部门和地方政府的支持下，陆续在甘肃兰州、广东惠州、福建晋江等地建设了靶向阿尔法同位素实验平台，其中兰州新区计划2023年下半年开始超导加速器安装，并完成设备安装调试，2024年上半年初步研制出医用阿尔法同位素样品。

对提升我国国际科技合作水平发挥了积极作用。

以中国散裂中子源为例，中国科学院高能物理研究所所在地集聚和培养了一支400多人的高水平工程和科研团队及大批青年学生，其中既有经验丰富的战略科学家，也有一批在专业领域颇有建树的学科领军人才和蓬勃奋进的青年科学家。散裂中子源的高度开放共享，也吸引了大批国内外的用户，包括科学家和工程技术人员开展科学研究和技术攻关。