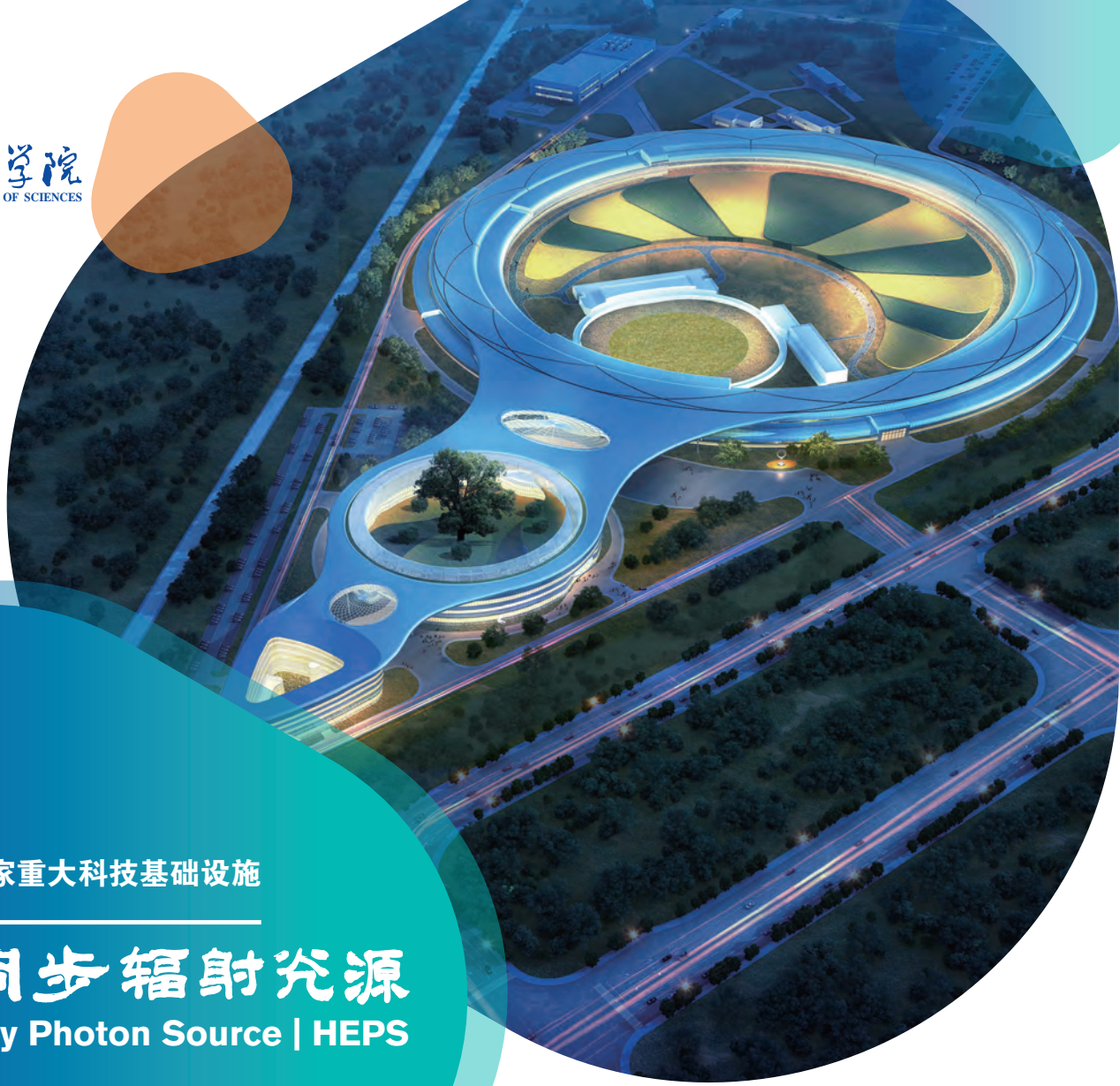




中国科学院
CHINESE ACADEMY OF SCIENCES



“十三五”国家重大科技基础设施

高能同步辐射光源

High Energy Photon Source | HEPS



中国科学院高能物理研究所
Institute of High Energy Physics, Chinese Academy of Sciences



怀柔科学城
HUAIROU SCIENCE CITY



创新驱动发展

Innovation Drives Development

2019年年中,在怀柔科学城北部核心区开工建设的,怀柔大装置集群中的核心装置——高能同步辐射光源(High Energy Photon Source, HEPS),是我国第一台高能量同步辐射光源,也将是世界上亮度最高的第四代同步辐射光源。

HEPS的整体建筑外形似一个放大镜,寓意为探测微观世界的利器,是“十三五”期间优先建设的,为国家的重大战略需求和前沿基础科学研究提供技术支撑平台的国家重大科技基础设施。

HEPS将与怀柔科学城内建设的综合极端条件装置等其他设施和平台紧密结合,形成一个高端的综合性大装置集群,全方位地推进国家科学技术的发展。

CONTENTS 目录

- 01 HUIROU SCIENCE CITY 怀柔科学城篇
- 02 OVERVIEW 概况篇
- 03 PRINCIPLE 原理篇
- 04 INNOVATION 创新篇
- 05 SAFETY 安全篇
- 06 OPERATION 开放共享
- 07 EVENTS 大事记

01 | 怀柔科学城篇

HUAIROU SCIENCE CITY



- 2014年2月 ● 习近平总书记视察北京，明确了北京作为全国政治中心、文化中心、国际交往中心、科技创新中心的城市战略定位。
- 2016年3月 ● 《北京市国民经济和社会发展第十三个五年规划纲要》指出，怀柔科学城重点拓展与中科院合作，依托大科学装置集群和怀柔科教产业园搭建大型科技服务平台，打造我国科技综合实力的新地标。
- 2016年5月 ● 党中央、国务院发布《国家创新驱动发展战略纲要》，明确指出要推动北京建成具有全球影响力的科技创新中心。
- 2016年9月 ● 国务院印发《北京加强全国科技创新中心建设总体方案》，明确提出统筹规划建设中关村科学城、怀柔科学城和未来科学城，形成领跑世界的原始创新策源地，将北京打造为世界知名科学中心。
- 2016年9月 ● 北京市和中科院签约合作推进全国科技创新中心建设，签约共建怀柔科学城。
- 2016年10月 ● 北京市政府和10个国家有关部门与单位成立北京推进科技创新中心建设办公室（简称北京办公室），建立“一处七办”的组织架构。“一处”，即：北京办公室秘书处。“七办”，即七个专项工作机构。怀柔科学城专项办是其中一个专项工作机构。

- 2017年2月 ● 习近平总书记再次视察北京，强调北京最大的优势在科技和人才，要以建设具有全球影响力的科技创新中心为引领，抓好中关村科学城、怀柔科学城、未来科学城、北京经济技术开发区这“三城一区”建设，深化科技体制改革，打造北京经济发展新高地。
- 2017年5月 ● 国家发展改革委、科技部联合批复《北京怀柔综合性国家科学中心建设方案》，明确指出，北京怀柔综合性国家科学中心建设，要以怀柔科学城为核心承载区，以世界先进水平的重大科技基础设施群为依托，综合集成北京地区的相关科研机构、创新人才、研究装置和科技项目，开展高水平科研活动，提升我国在交叉前沿领域的源头创新能力和科技综合实力，代表国家在更高水平上参与全球科技竞争与合作。
- 2017年5月 ● 怀柔科学城五个交叉研究平台：材料基因组研究平台、清洁能源材料测试诊断与研发平台、先进光源技术研发与测试平台、空间科学卫星系列及有效载荷研制测试保障平台、先进载运和测量技术综合实验平台开工建设。
- 2017年6月 ● 中国共产党北京市第十二次代表大会指出，突破怀柔科学城，重点布局国家重大科技基础设施和前沿科技交叉研究平台，建设综合性国家科学中心，成为世界级原始创新承载区。
- 2017年6月 ● 北京市和中科院联合调研怀柔科学城，提出要立足高点定位，把握发展规律，努力打造百年科学城。怀柔科学城规划范围扩展到密云区域，规划面积100.9平方公里。
- 2017年9月 ● 党中央、国务院批复《北京城市总体规划（2016年-2035年）》，指出要高水平建设“三城一区”，打造北京经济发展新高地，明确怀柔科学城要建成与国家战略需要相匹配的世界级原始创新承载区。
- 2017年9月 ● “十二五”时期国家重大科技基础设施——综合极端条件实验装置开工建设。
- 2017年10月 ● 党的十九大报告指出，加快建设创新型国家。要瞄准世界科技前沿，强化基础研究，实现前瞻性基础研究、引领性原创成果重大突破。
- 2018年9月 ● 北京市委怀柔科学城工作委员会、怀柔科学城管委会挂牌成立。
- 2018年9月 ● “十二五”时期国家重大科技基础设施——地球系统数值模拟装置开工建设。
- 2018年12月 ● 北京市和中国科学院签约共建物质科学实验室、空间科学实验室，签约推动中科院科研成果落地怀柔科学城。
- 2019年6月 ● “十三五”时期国家重大科技基础设施——高能同步辐射光源开工建设。
“十三五”时期国家重大科技基础设施——多模态跨尺度生物医学成像设施开工建设。

怀柔科学城战略定位和发展目标

怀柔科学城位于北京东北部，距离中心城区大约 50 公里，处于怀柔区、密云区的核心地带，规划面积 100.9 平方公里，其中：怀柔区域 68.4 平方公里，密云区域 32.5 平方公里。

怀柔科学城战略定位



原始创新是怀柔科学城的显著特色和明显标志，主要围绕物质科学、空间科学、地球系统科学、生命科学和智能科学五大科学方向，重点推进“五个一批”，也就是：建成一批国家重大科技基础设施和交叉研究平台；吸引一批科学家、科技领军人才、青年科技人才和创新创业团队；集聚一批高水平的科研院所、高等学校、创新型企业；开展一批基础研究、前沿交叉、战略高新技术和颠覆性技术等科技创新活动；产出一批具有世界领先水平的科技成果，提高我国在基础前沿和交叉科学领域的原始创新能力和科技综合实力。

怀柔科学城规划了四个时间节点的发展目标

2020

怀柔科学城城市框架扎实起步，北京怀柔综合性国家科学中心建设成效初步显现。

2025

怀柔科学城城市框架基本形成，北京怀柔综合性国家科学中心影响力显著提升。

2035

基本建成国际知名的科学城和国家科学中心。

2050

全面建成引领世界一流的科学城和国家科学中心。

截至 2019 年 5 月，入驻怀柔科学城的高校、院所共 29 家，其中高校 4 家（中国科学院大学、北京大学、清华大学、航天工程大学），院所 25 家。

中国科学院有 19 个科研院所和高等学校在怀柔科学城已经或正在建设校区、园区、大科学设施、交叉研究平台、科教基础设施。包括：中科院北京综合研究中心、中国科学院大学、中科院国家空间科学中心、中科院电子学研究所、中科院力学研究所、中科院计算机信息中心、中科院北京纳米能源研究所、中科院高能物理研究所、中科院物理研究所、中科院大气物理研究所、中科院生物物理研究所、中科院化学研究所、中科院过程研究所、中科院自动化所、中科院地球地质研究所、中科院青藏高原研究所、中科院生态环境研究中心、中科院空间应用工程与技术研究中心、中科院国家天文台。

北京大学在怀柔科学城建设 1 个国家重大科技基础设施——多模态跨尺度生物医学成像设施，和 2 个交叉研究平台，即：轻元素量子材料研究平台和激光加速创新中心。同时，北京大学计划在怀柔科学城东区建设北大医学部校区、研究型智能医院、十二年一贯制学校。

清华大学在怀柔科学城建设 1 个交叉研究平台，即：空地一体环境感知与智能响应研究平台。

航天工程大学隶属中国人民解放军战略支援部队，是培养高素质航天人才的重要基地、航天科技创新的前沿高地。建有航天模拟训练中心、航天试验训练中心、航天测控站、国家核高基集成技术攻关基地，以及 2 个国家级重点实验室和 1 个军队级重点实验室等教学科研设施。

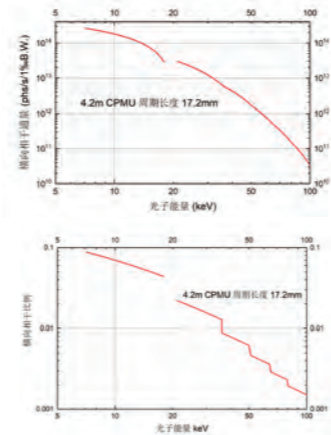
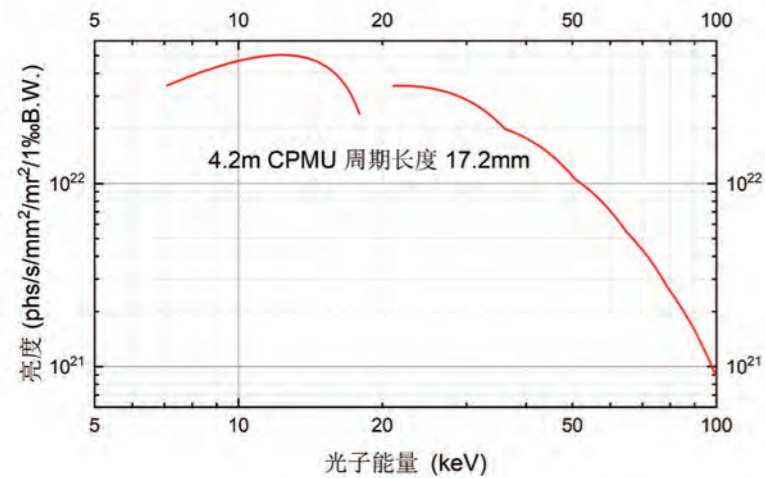
工业和信息化部在北京布局建设的 2 个国家制造业创新中心，全部在怀柔科学城落地建设。一个是依托北京有研科技集团公司的国家动力电池创新中心，另一个是依托机械科学研究总院成立的国家轻量化材料成形技术与装备创新中心。



02 概况篇 OVERVIEW

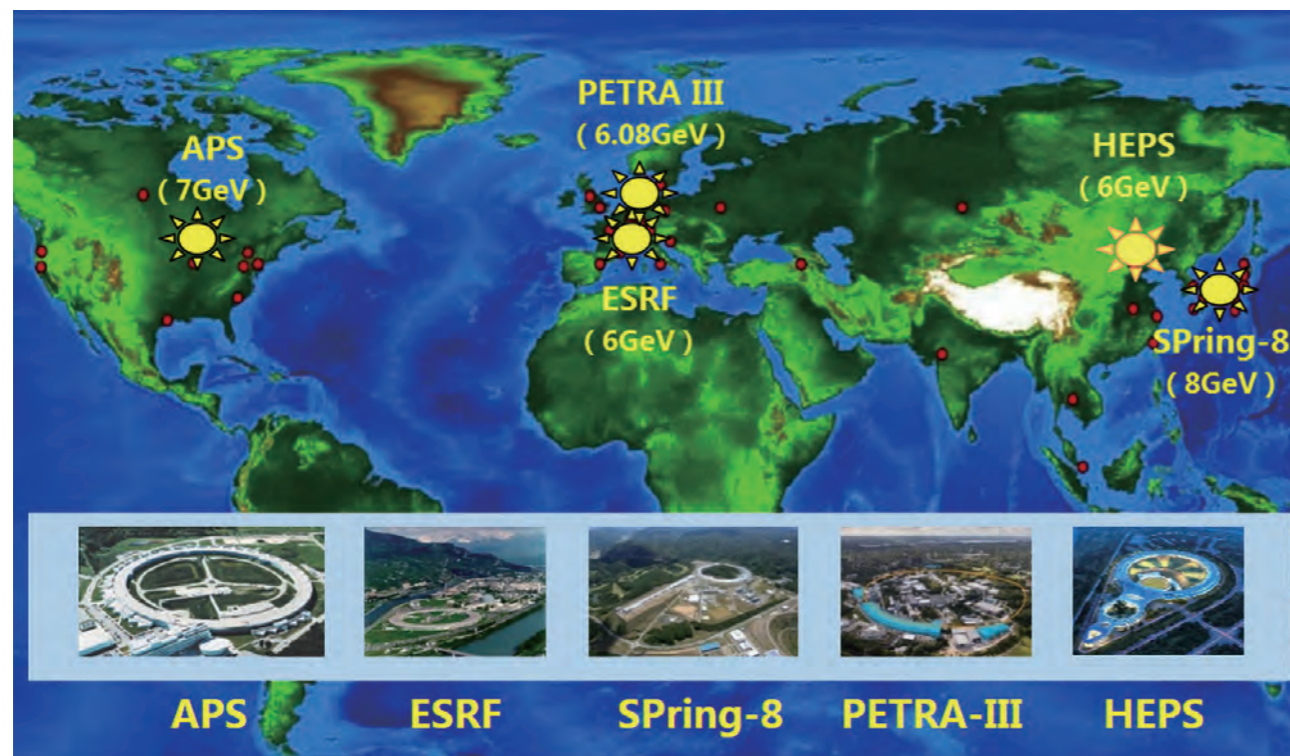
世界最亮第四代同步辐射光源

亮度大于 1×10^{22} phs/s/mm²/mrad²/1% B.W.
 > 发射度 34.2 pm·rad > CPMU (总长 4.2m, 周期长度 17.2mm)



中国第一台高能量同步辐射光源

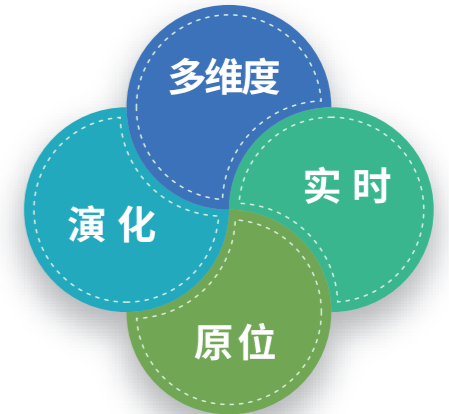
建成后, HEPS 将成为我国第一台高能量同步辐射光源, 与世界上正在运行的美国先进光子源 (APS)、欧洲同步辐射装置 (ESRF)、日本 SPring-8、德国的 PETRA-III 一起, 构成世界五大高能同步辐射光源。



科学目标

通过对微观结构多维度、实时、原位表征, 解析物质结构生成及其演化的全周期全过程。

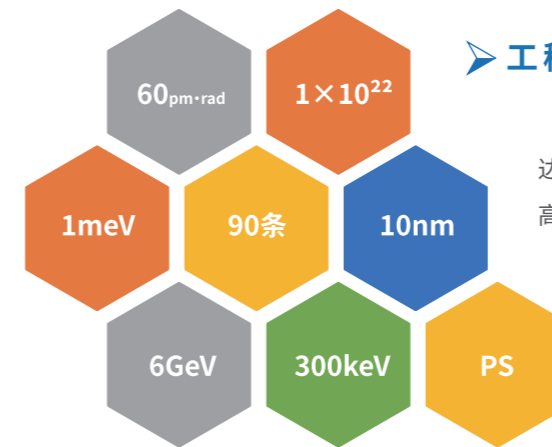
揭示微观物质结构生成演化的机制, 剖析微观物质构成, 为物质调控提供基础支撑。



工程目标

建设国际领先的高能同步辐射光源, 储存环能量达 6GeV, 亮度达 1×10^{22} phs/s/mm²/mrad²/0.1%BW, 发射度优于 0.06 nm·rad, 高性能光束线站容量不少于 90 个, 可提供能量达 300keV 的 X 射线。

设施空间分辨能力达到 10nm 量级, 具备单个纳米颗粒探测能力; 能量分辨能力达到 1meV 伏量级; 时间分辨达到 ps 量级, 具备高重复频率的动态探测能力。



建设意义

有利于进一步优化我国同步辐射光源区域布局的进一步合理化, 促进我国科学技术与社会经济更加和谐协调地发展。

可提供能量高达 300keV 的 X 射线, 满足与国家发展战略和工业核心需求相关研究的迫切需求, 同时, HEPS 也能在低、中能区提供亮度更高的 X 射线, 在基础科学研究领域为用户提供更好的支撑平台。

今天人类已处于一个**调控时代 (Control Age)**: 通过更精细地**认识物质** (包括生命物质和非生命物质), 在原子甚至电子水平**调控物质**, 使其具有期望的功能和性能

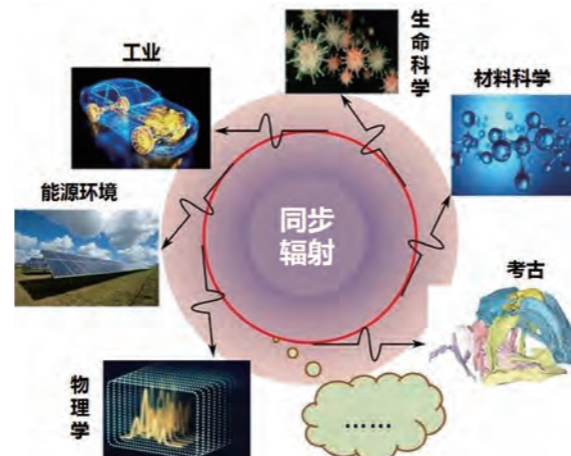
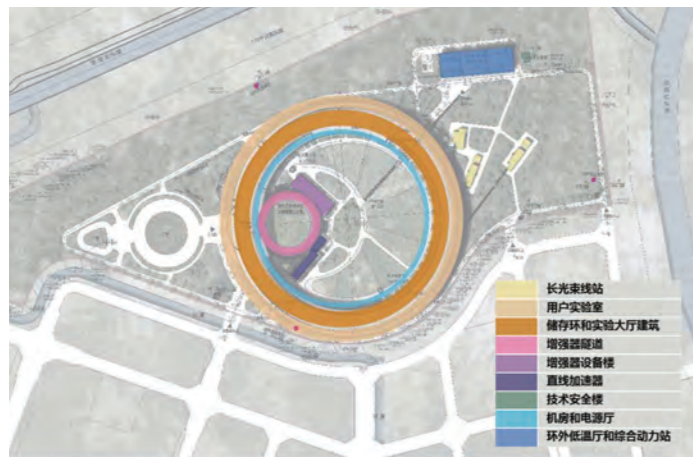
先进光源在其中起着关键的作用

——美国能源部基础能源科学顾问委员会研究报告《调控物质和能量: 科学的五个挑战及展望》

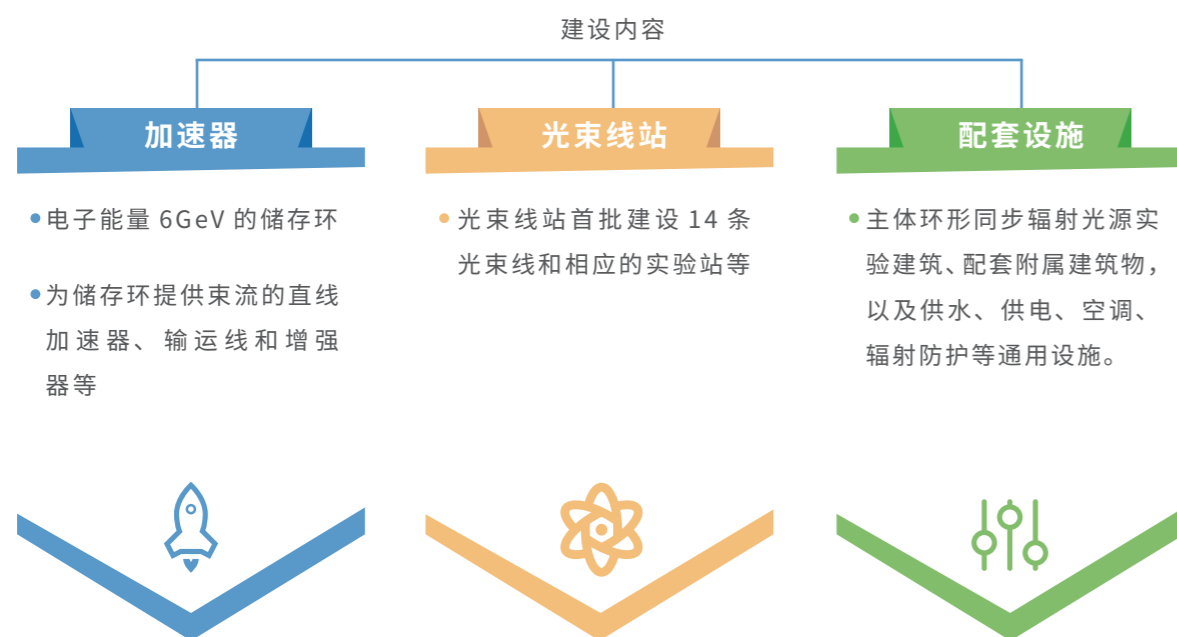
经济和社会效益

HEPS 将在我国先进材料、航空航天、能源、环保、医药、石油、化工、生物工程和微细加工等领域中广泛应用，提供突破瓶颈问题的关键手段，通过推动技术创新，提升企业的核心竞争力，推动相关高科技产业的发展。

HEPS 将成为我国重要的国际科技合作与基础科学研究平台，提升我国在相关领域原始创新能力的同时，增强我国的国际影响力。



建设内容



建筑主题

HEPS 新增建筑面积 12.5 万平方米，建筑外观选用中国电子工程设计院的“显微世界”主题方案。

该方案的建筑外形似一个放大镜，寓意为探测微观世界的利器。

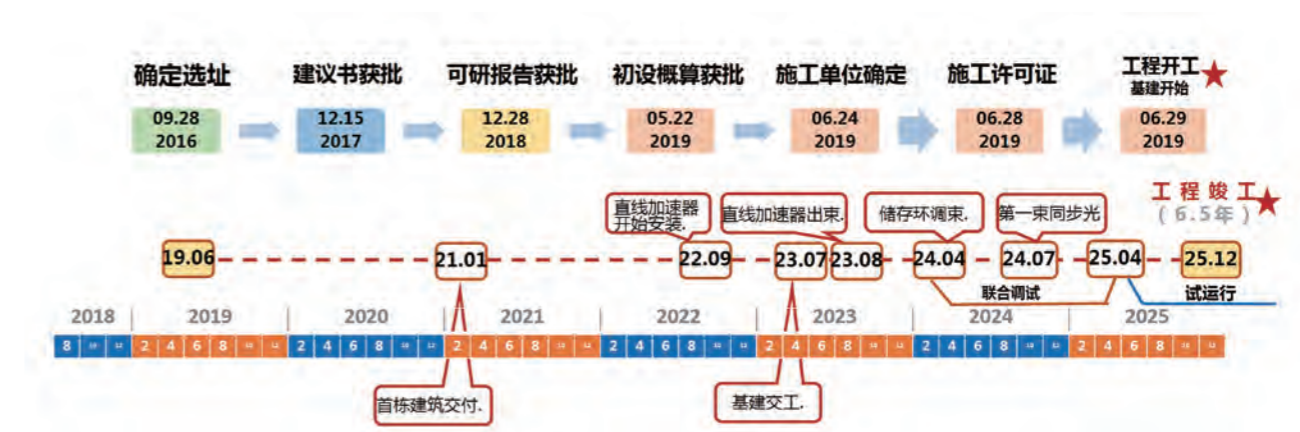


建设投资

HEPS 建设投资全部由国家、地方专项资金支持。

进度计划

HEPS 建设周期为 6.5 年，2019 年年中完成所有前期准备工作、开工建设，2019-2025 年完成工程建设，2025 年底验收并投入运行。



建设场址

HEPS 项目用地面积约 65.07 万平米，将建于北京怀柔科学城核心区，项目基地位置位于雁栖湖东南方，与雁栖湖国际会展中心、日出东方凯宾斯基酒店成为雁栖湖东南端的金三角。



2017 年 5 月，北京怀柔综合性国家科学中心获批。将以怀柔科学城为核心承载区，以世界先进水平的重大科技基础设施群为依托，建设具有全球影响力的科技创新中心。

法人单位

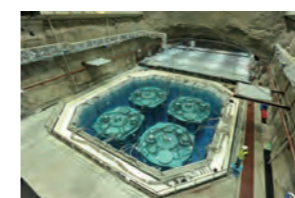
项目由中国科学院高能物理研究所作为法人单位。

建所以来，高能所开创并推动了中国的粒子物理实验、粒子天体物理实验、粒子加速器物理与技术、同步辐射技术及应用等学科领域的研究和发展，培养了一批优秀科学家，取得了一批高水平研究成果，研发了许多高技术产品，为国家科技事业发展作出了重要贡献。

高能所的战略定位是：国际领先的高能物理中心之一，具有世界先进水平的大型、综合性、多学科研究基地。



高能所是我国大科学装置的骨干力量，拥有一系列大科学装置。



2012 年 3 月，大亚湾反应堆中微子实验国际合作组宣布发现新的中微子振荡模式，取得世界领先水平研究结果（获得 2016 年基础物理学突破奖、国家自然科学基金一等奖）。



2016 年 4 月 5 日，BEPCII 对撞亮度达到 $1 \times 10^{33} / \text{cm}^2 / \text{s}$ ，标志对撞机的性能达到改造前的 100 倍，创造了该能区对撞亮度的最新世界纪录，获得 2016 年国家科技进步一等奖。



BSRF 每年向用户提供 2000 小时专用实验机时，取得了解析非典（SARS）主蛋白酶及抑制剂结构、发现砷剂治疗白血病的机制等一批高水平的实验成果。

03 | 原理篇 PRINCIPLE

➤ X 射线提供了在原子水平探测物质结构的能力

X 射线是一种波长极短、能量很大的电磁波，其波长比可见光的波长更短（约在 0.001 ~ 10nm，医学上应用的 X 射线波长约在 0.001 ~ 0.1nm 之间）。由德国物理学家 W.K. 伦琴于 1895 年发现，故又称伦琴射线。

X 射线具有很高的穿透本领，能透过许多对可见光不透明的物质，如墨纸、木料等。1912 年，劳埃发现 X 射线晶体衍射现象，开创了晶体学研究 X 射线成为人类探索微观世界的理想探针。

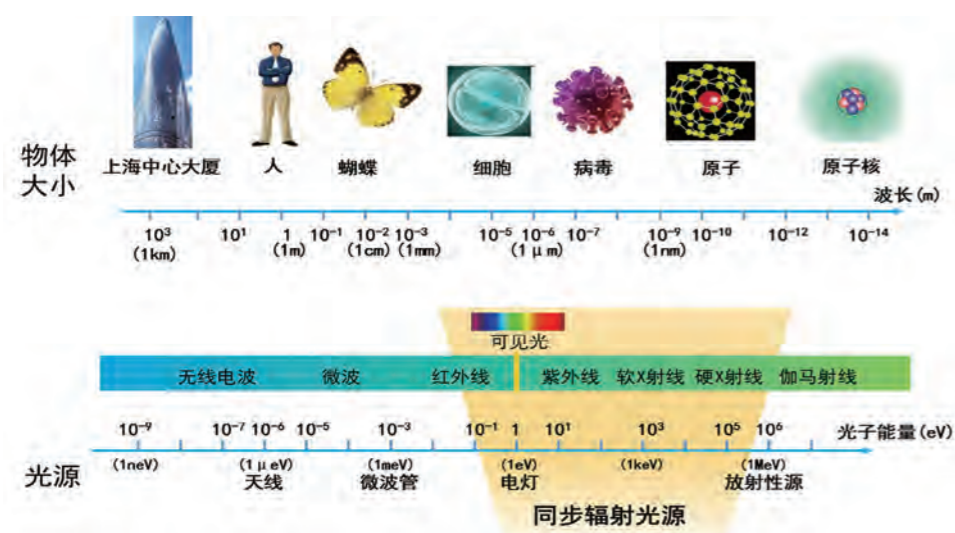


○ 第一张 X 射线照片

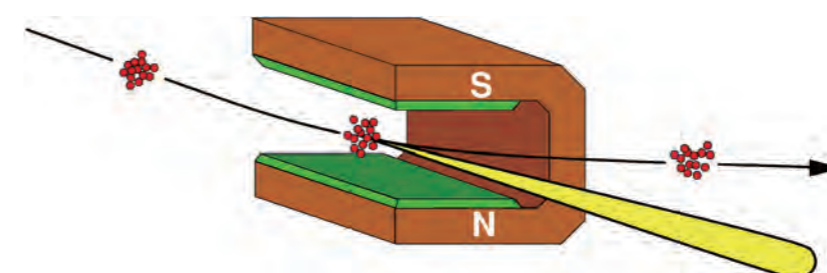
➤ 同步辐射光源——X 射线源革命性变革

在实验室中，X 射线一般是由 X 射线管、X 光机产生。

上世纪中叶，基于粒子加速器的同步辐射光源，产生的同步光亮度比常规 X 光机要高出约 4-12 个数量级，使 X 射线源发生了革命性的变革。



○ 德国物理学家威廉·康拉德·伦琴



同步辐射光原理图

同步辐射是速度接近光速的带电粒子在磁场中沿弧形轨道运动时，沿着偏转轨道切线方向发射连续谱的电磁波。

1947 年人类在电子同步加速器上首次观测到这种电磁波，称其为同步辐射。

- 1- 加速器：产生、加速高品质电子束，并产生同步辐射的装置，一般包含储存环、直线加速器、增强器和运输线。
- 2- 光束线：沿着储存环的外侧分布，处理和变换同步辐射光，并传输到实验站。
- 3- 实验站：开展科学实验的场所。

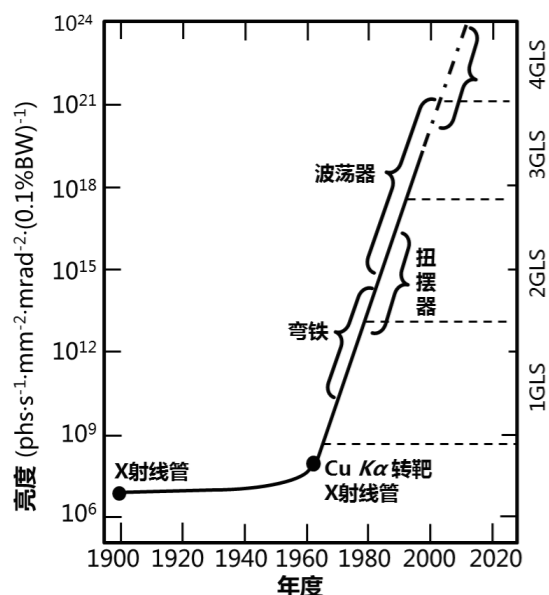


X 射线：近 100 年改变世界的 10 大发明之首

——英国伦敦科学博物馆 2009 年评选结果



○ 1896 年 X 射线应用于临床医学



同步辐射光源经历了四代的发展：

第一代光源：与高能物理研究兼用的 (The 1st Generation Light Source, 1GLS) ；

第二代光源 (2GLS)：专用于同步辐射研究的；

第三代光源 (3GLS)：以小发射度、多插入件为特征的、高亮度的；

第四代光源 (4GLS)：采用了多弯铁消色散的结构，以实现衍射极限为代表的光源。

04 | 创新篇 INNOVATION

➤ HEPS 构成

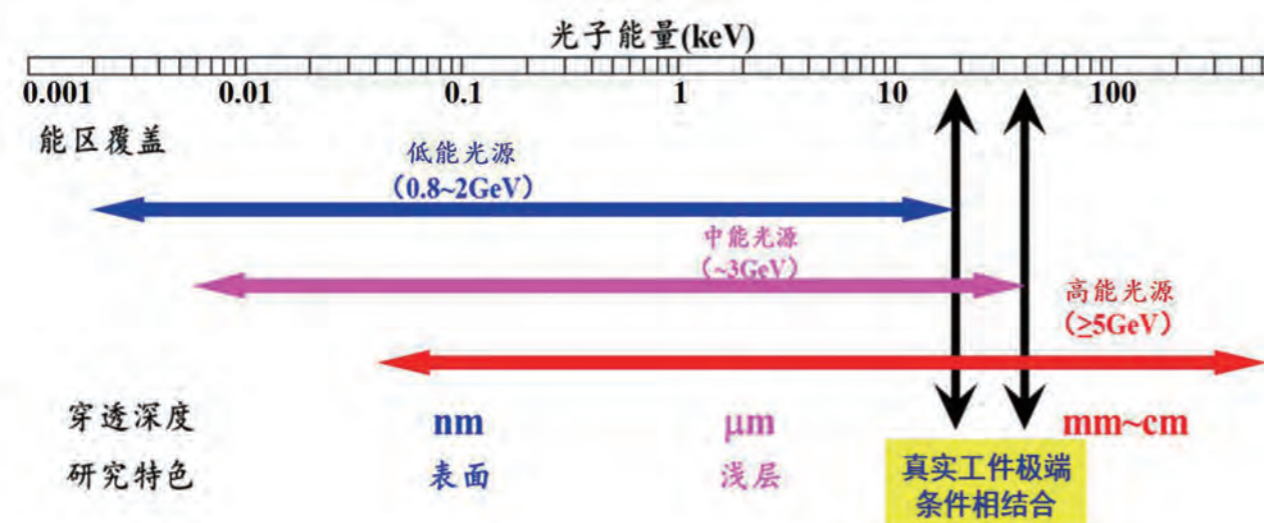
【高能输运线】

第一条高能输运线将储存环中的束流引出并回注到增强器中，和增强器内完成升能的束流汇合；

第二条高能输运线将融合后的束流传输并注入到储存环中。

【增强器】

增强器是一个电子同步加速器，它是储存环的满能量注入器，采用 4 重对称的 FODO 磁聚焦结构。它将电子束流从 500MeV 加速到 6GeV。

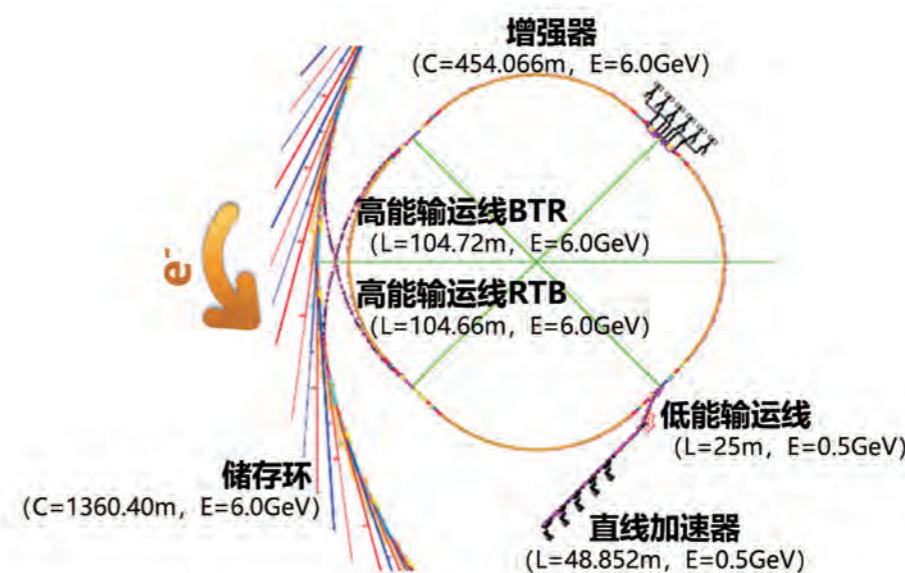


电子能量大致分为三个能段：

低能光源：800MeV~2GeV，主要工作在真空紫外和低于 20keV 的 X 射线能区；

中能光源：3GeV 左右，主要工作在软 X 射线和高至 40keV 的硬 X 射线能区，而在 40keV 以上，光源的亮度则急剧下降；

高能光源：X 射线能区可扩展到 100keV 以上。



【储存环】

HEPS 加速器的主要部分为一个超低发射度电子储存环，束流能量为 6GeV，最高流强 200mA，全环由 48 个改进型混合 7BA 单元组成 (6m 长直线节)。

HEPS 的储存环周长仅小于日本的 SPring-8 和德国的 PETRA-III，环形建筑圈内的面积相当于约 20 个足球场。

【低能输运线】

将在直线加速器输出的能量为 500MeV 的束流输送到增强器中。

【直线加速器】

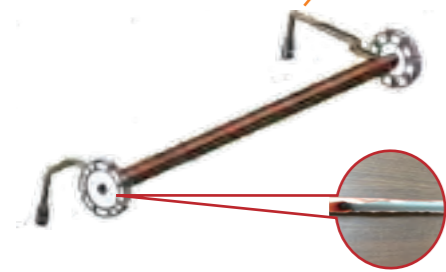
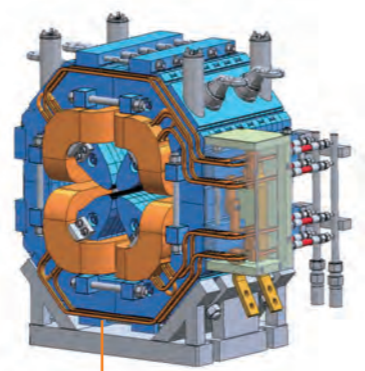
直线加速器是增强器的注入器。输出束流的能量为 500MeV，宏脉冲重复频率 50Hz、半高全宽 1.1ns、设计电荷量 7nC。

➤ 加速器

每个 7BA 单元节中，集成了包含纵向、横向梯度的组合型二极磁铁，超高梯度（80T/m）四极磁铁，小孔径真空内 NEG 镀膜的真空系统等一系列先进设计，来实现小于等于 $60\text{pm} \cdot \text{rad}$ 的水平自然发射度，这也是第四代衍射极限光源的主要特点。

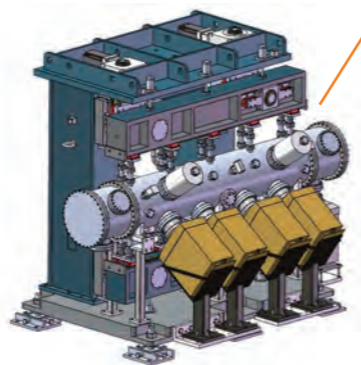
国内首次研制成功超高梯度（80T/m）四极铁，推动精密机械加工的发展。

超高梯度四极磁铁总装后极头的精度要求是普通磁铁的 2.5 倍（普通磁铁一般轮廓度要求为 $\pm 0.05\text{mm}$ ），四分之一铁芯接触面位置的精度要求在微米级别。



首次在国内实现了加速器小孔径真空室内壁 NEG 镀膜，成功地解决了不占用任何空间就能有效抽除同步光气载的技术难题。

与同样结构参数（周期长度、磁间隙）的真空内波荡器相比，锗铁硼低温波荡器可获得高出 20~40% 的峰值场强，因此使其具备进一步缩短周期长度，减小 K 值，同样波荡器长度上获得更多周期数，从而获得更优异的亮度、相干性等光源特性的潜力。



* 以上各项关键技术已由 HEPS-TF 项目进行研发并完成，将在 HEPS 中运用

自主研发成功与进口设备性能相当的 300A 高精度电流传感器和数字束流位置测量（DBPM）电子学系统，并在 BEPCII 上投入运行。

分辨率：10 uA (电流源: Fluke 5500A; 数据采集: 8508A)

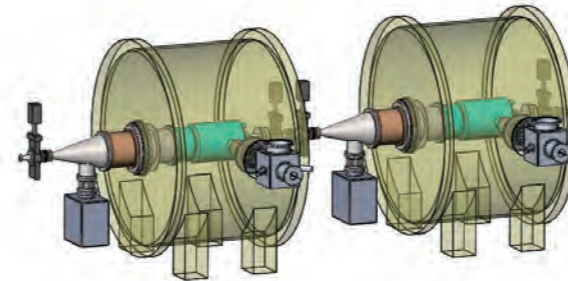
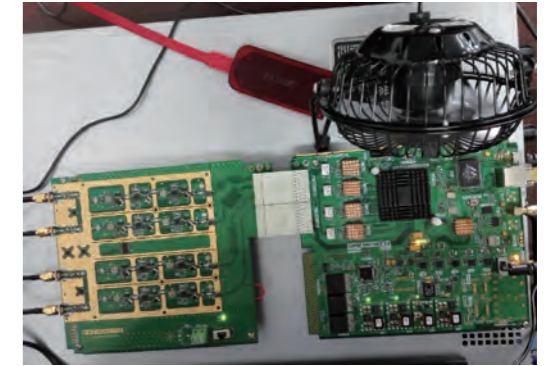
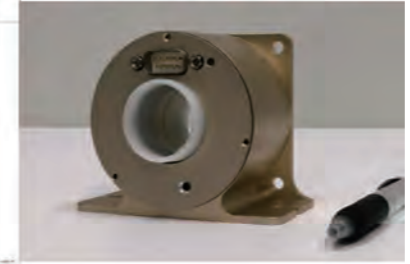


自主研制的高精度电流传感器，应用于 TF 高精度稳流电源，实现了优于 10ppm 的长期稳定度控制

温度系数：0.28ppm/°C
温度范围：a~b °C

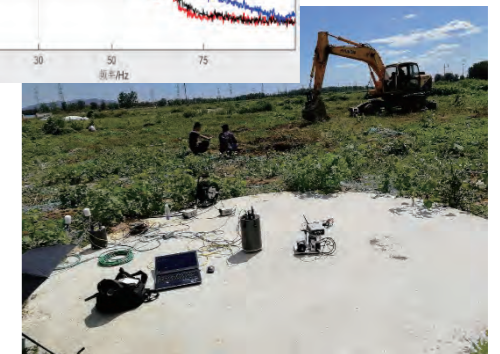
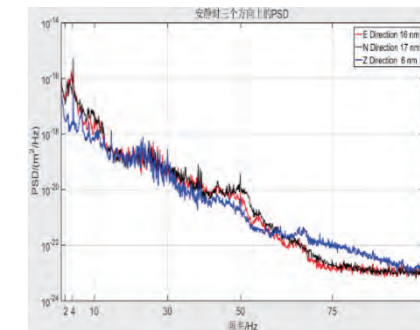
$$\frac{(I_{\text{meas}(a)} - I_{\text{meas}(b)})}{I_{\text{meas}(a)}} - \frac{(I_{\text{meas}(c)} - I_{\text{meas}(d)})}{I_{\text{meas}(c)}} \approx (a-b)$$

初始offset vs. 满量程: 1.17ppm



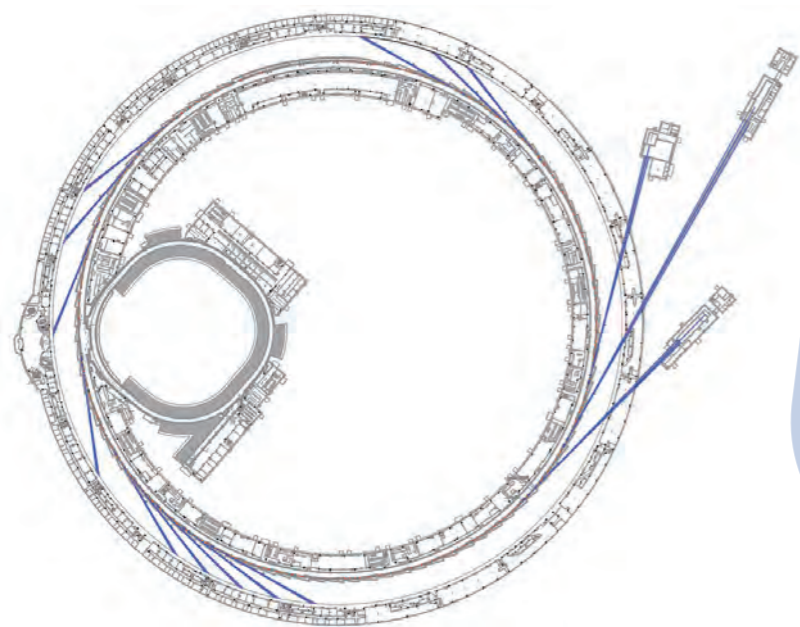
166MHz 超导腔是世界上首台用于加速电子的主动型低频强流高功率超导高频腔。

根据国际上光源关键地块基础以及地基的设计及施工经验，要求地面振动（包括地脉动、周边环境各种设备和人类活动包括轨道交通、行人等引起的振动）在 1-100Hz 频率范围内振动的均方根位移积分小于 25nm。



* 以上各项关键技术已由 HEPS-TF 项目进行研发并完成，将在 HEPS 中运用

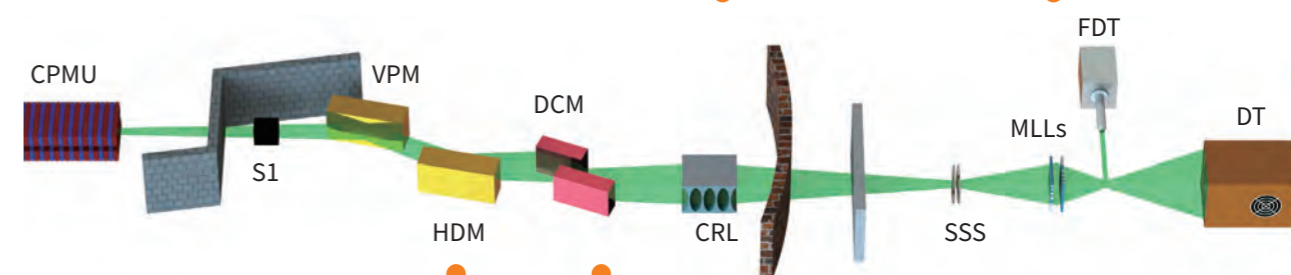
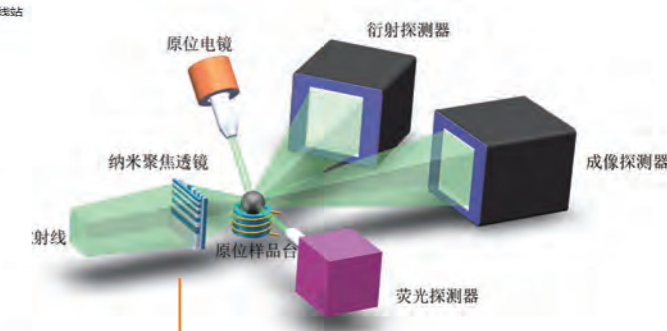
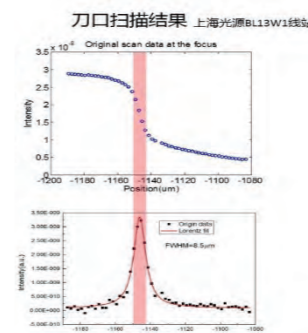
▶ 首期建设光束线站



序号	一期线站名称	插入件类型	能量范围 [keV]	直线节	国家需求	工业应用	可持续发展	科学前沿	高能	低发射度	用户广泛
1	工程材料线站	CPMU	50~170	低	√	√	√		√	√	√
2	硬X射线纳米探针线站	CPMU	6~25	低			√	√	√	√	
3	结构动力学线站	CPMU	20~60	低	√	√		√	√	√	√
4	硬X射线相干散射线站	CPMU	7-40	低				√	√	√	
5	高分辨谱学线站	IVU	5~25	低	√			√	√	√	
6	高压线站	IVU	20-50	低	√			√	√	√	√
7	硬X射线成像线站	CPMU	10-90	低	√	√		√	√	√	√
		Wiggler	40-300								
8	X射线吸收谱学线站	IAU	4.8-45	高			√	√			√
9	低维结构探针线站	IVU	4.8-40	低	√		√	√			√
10	生物大分子微晶衍射线站	IAU	5~18	高	√		√	√			√
11	粉光小角散射线站	IAU	8~12	高	√	√		√			√
12	高分辨纳米电子结构线站	APPLE-KNOT	0.1-2	高		√		√		√	√
13	通用环境谱学线站	弯铁	2.1~7.8				√	√			√
14	X射线显微成像线站	IAU	5~15	高		√	√	√			√

▶ 光束线

通过研制多层膜劳埃透镜实现 30nm 以内的硬 X 射线光束聚焦，以及通过特殊优化的复合折射透镜实现 $<20\mu\text{m}$ 的高能 X 射线 ($\geq 50\text{keV}$) 光束聚焦。



创新性地提出了接力式双光学头的基本结构，自主设计研制的高精度光学面形检测设备——新型长程面形仪的实测曲面检测精度为 32nrad，达到国际前沿水平。



单色器热负荷缓释能力达到 800W，第二晶体振动稳定性 40nrad，各运动轴的精度全部满足要求。液氮冷却循环系统长期稳定工作，压力波动小于 $\pm 0.55\text{kPa}$ ，压力控制重复性较高。

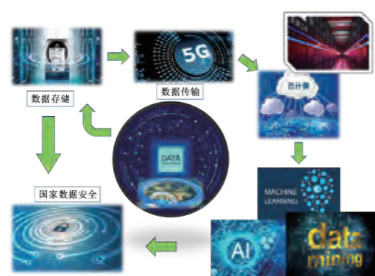
* 以上各项关键技术已由 HEPS-TF 项目进行研发并完成，将在 HEPS 中运用

实验站

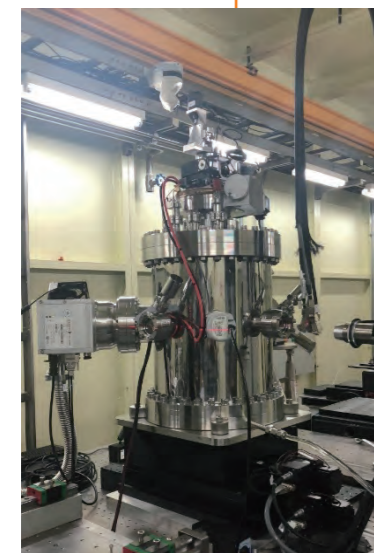
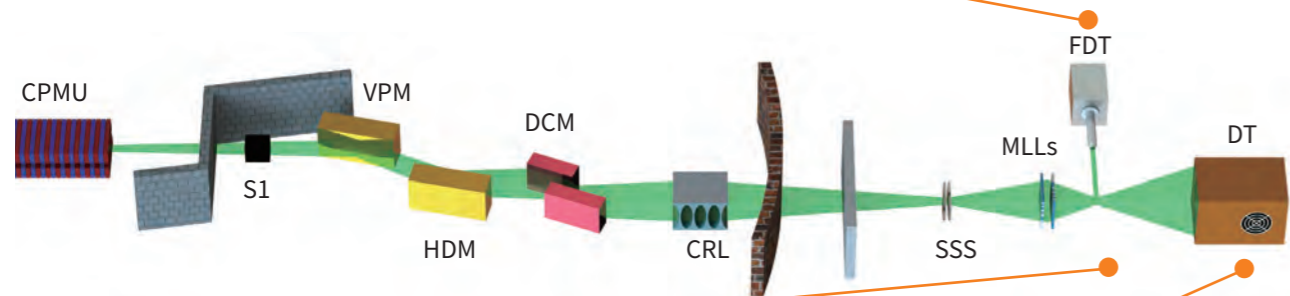
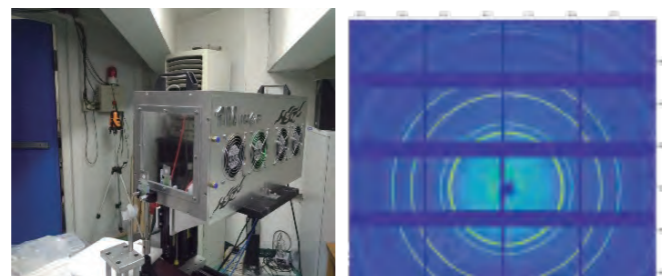
海量非结构化原始实验数据（预计每天将产生上百TB、一年几十PB）。

大数据存储、分布式数据库、云计算 / 超算将保障 HEPS 实验的高效运行和分析；

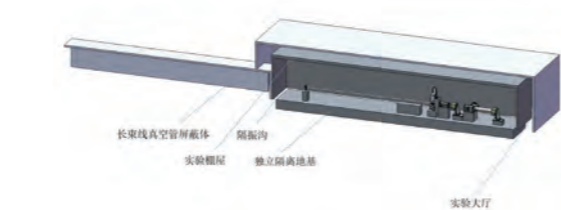
5G 技术将助力海量数据的快速传输和发布。



自主设计研制了二维 X 射线像素阵列探测器^{*}，像素尺寸达到 150 μm ×150 μm 、动态范围为约 1.7×10⁶cps、探测器有效面积 12cm×17cm，是我国高端 X 射线探测器研制的重要突破。



突破了超高温、大载荷、大变形和多环境因素耦合等原位环境与同步辐射 X 射线衍射、吸收和成像等技术及系统集成的瓶颈^{*}，具备了工程材料制备、加工和应用过程的同步辐射原位表征能力。



硬 X 射线纳米探针实验站

结合线站纳米级实验的精度需求，实验站的独立地基振动稳定性设计标准为 VC-F。

24 小时内的实验大厅的温度稳定性为 25±3℃，实验棚屋的温度稳定性为 25±0.05℃。相对湿度 < 55%。

* 以上各项关键技术已由 HEPS-TF 项目进行研发并完成，将在 HEPS 中运用

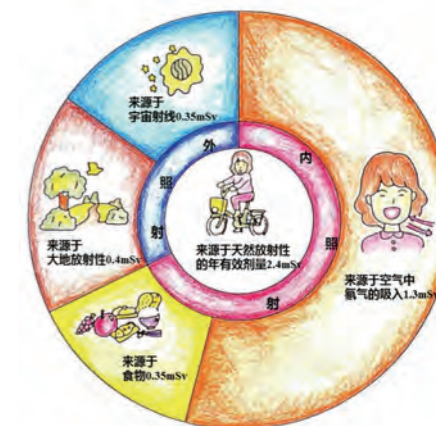
05 | 安全篇 SAFETY

来源于天然本底照射

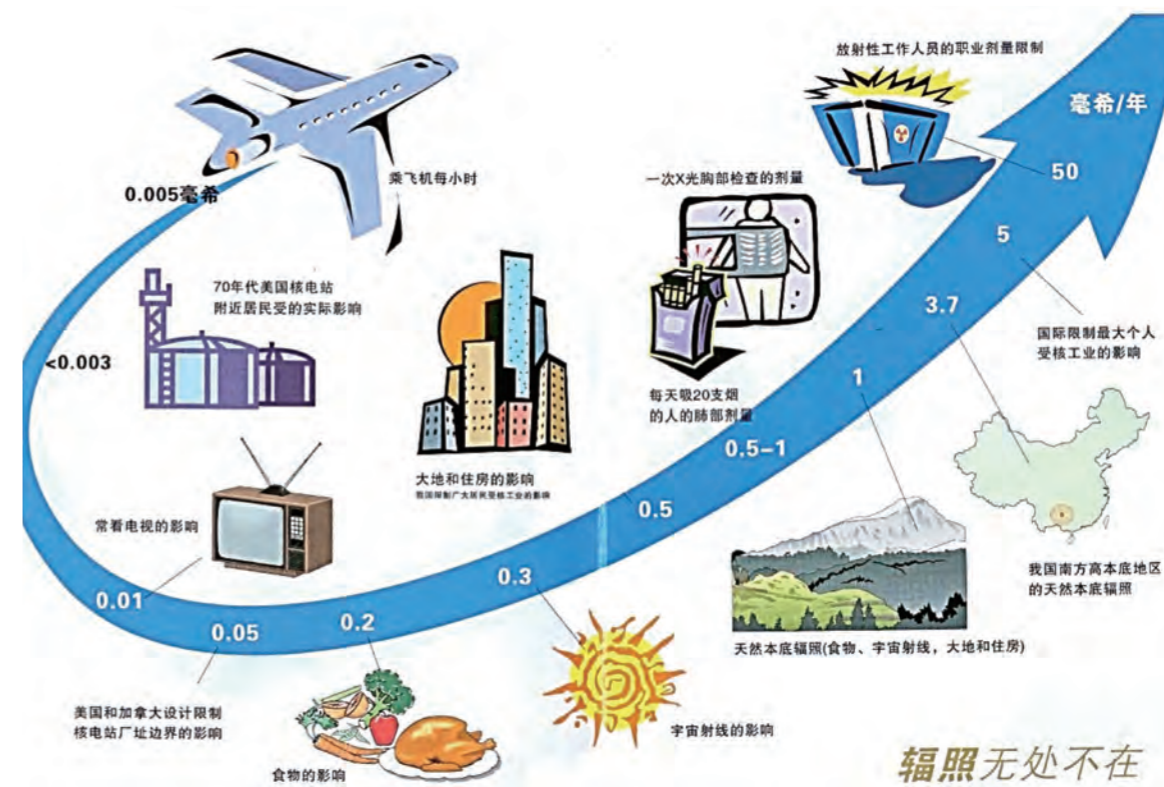
人类生活在地球上，每时每刻都受到天然存在的各种电离辐射源的照射，称为天然本底照射。

1988 年，联合国科学委员会给出，全世界平均每人每年受到天然放射性的照射剂量约为 2.4mSv。

毫希沃特 (mSv) 为辐射剂量单位，1mSv=0.001Sv



各种辐射源对人类造成的年平均有效剂量一览



辐照无处不在

➤ 外照射的防护



➤ HEPS 产生的辐射是瞬发性的

HEPS 作为一台大型射线装置，它产生的辐射是瞬发性的，只要加速器一停机，辐射场即消失，同时也不再引起空气、冷却水的活化。也就是说，只要加速器一停机，能造成环境影响的主要辐射源即消失。

➤ HEPS 有完整的辐射防护设计方案

严格屏蔽墙设计，充分考虑环境影响：

- 杂散辐射、隧道气体排放
- 装置冷却水密闭循环，运行期间不对外排放
- 少量活化放射性部件储存和处理

严格人身安全连锁与剂量监测系统设计，保障工作人员与环境安全。



➤ HEPS 对公众影响的剂量限值远低于国家标准！

在 HEPS 的辐射防护设计中，参照了国际及国家标准，也借鉴了世界各同步辐射光源关于屏蔽设计目标的经验，拟订防护设计的年剂量管理目标值（亦称剂量限值）。



在 HEPS 工作、实验或者按照工作人员引导参观，完全不用担心辐射问题。



06 开放共享 OPERATION

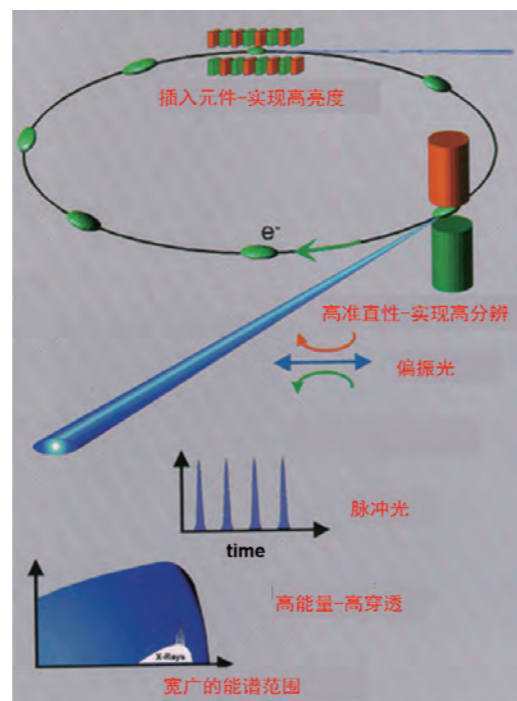
同步辐射—神奇的光

高强度：亮度比常规 X 光机上产生的 X 光高出 4~12 个量级，可用于高分辨和信号强度较弱的光学实验。

频谱宽：波长连续可调，覆盖红外、可见光、紫外和 X 射线波段（能量跨度 8 个数量级。作为参考，人眼可分辨的光谱范围连一个数量级都不到），可根据需要，利用单色器选取不同波长的单色光。

时间分辨：加速器中的电子分布不是连续的，而是一团一团的电子束，因此，同步光为脉冲光，具有时间分辨。

高准直：发散角很小，几乎是平行的。



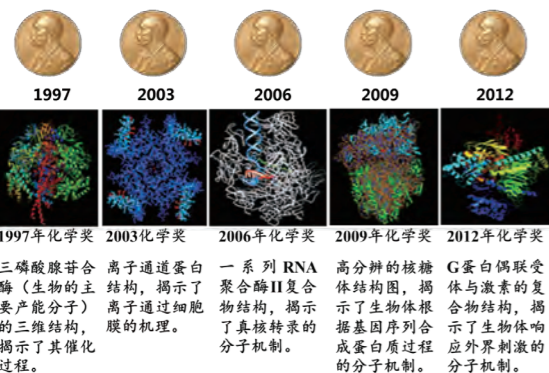
同步辐射光源发展现状

目前，世界上大约有 50 多台这样的科研装置运行在 23 个国家和地区。



同步辐射装置的聚集效应：“产-学-研”一体化基地的建立

欧洲的综合科学城——法国·格勒诺布尔



○ 基于 SR 结构解析的研究工作已获得 5 项诺贝尔奖。

探索微观世界的利器

所有与微观结构有关的领域，如物理学、化学、生命科学和医学、材料科学和工程、能源科学和技术、地球和环境科学、纳米科技…

对众多用户的巨大支撑能力

欧美四大装置（ESRF、APS、ALS、NSLS）：每年用户 2 万人，实验 1 万个，发表文章 5 千篇，每年在 Science、Nature、PRL 发表论文超过 200 篇。

上海光源 2019 年运行 10 周年，已接待 2 万余个用户，成为我国用户最多的大科学装置和公共实验平台。



科学寿命

HEPS 为一台开展前沿科学及高技术研究的先进大型实验装置，它的设计寿命为 30 年。考虑到 HEPS 建成后还会不断升级改造，期望其工作寿命在 50 年或更长。

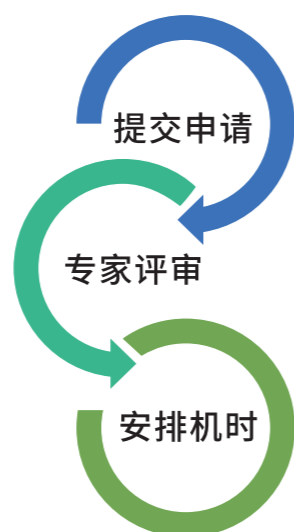


开放共享

HEPS 建成后，将参照相关的运行规范和已有光源的经验，全天时运行。

国家重大基础设施机时向科学研究免费开放，用户可根据实验需求，选择相应的实验线站申请机时。

- 7000** • 除去集中维护检修期，全年运行10个月，约7000小时
- 4000+** • 向用户供光4000~5000小时/站
- 70%** • 保证所外共享率不低于70%



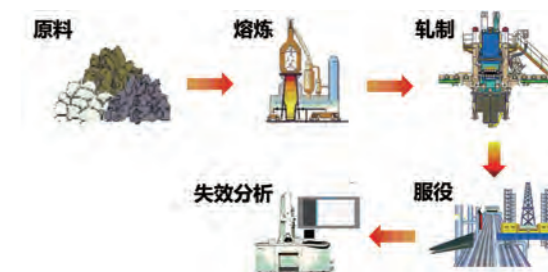
有力支撑国家发展战略和工业核心创新能力相关研究

国家重大需求和工程材料方面

极端条件下材料的结构功能研究

特殊材料的动态高压条件下结构变化实时解析

工程材料的全寿命周期实时动态研究

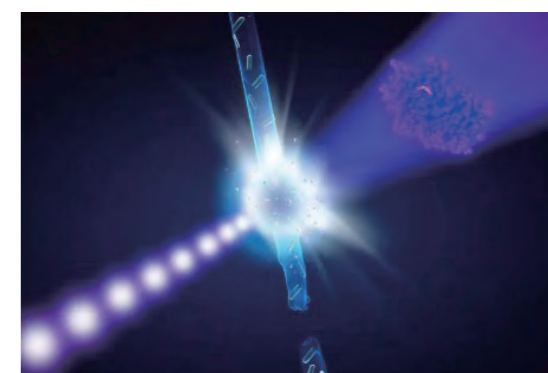


前沿科学方面

小于 1 μm 尺寸的生物蛋白质晶体结构测定

单个纳米颗粒的实时、原位结构解析

强关联材料的深能级声子谱研究



序号	一期线站名称	材料科学	凝聚态物理	介观科学	化学化工	生物医学	极端条件	催化	环境	能源
1	工程材料线站	⊙					⊙			
2	硬X射线纳米探针线站		⊙	⊙		⊙				
3	结构动力学线站	⊙	⊙		⊙	⊙	⊙	⊙		
4	硬X射线相干散射线站	⊙		⊙		⊙				
5	高分辨谱学线站		⊙		⊙		⊙			
6	高压线站	⊙	⊙				⊙			⊙
7	硬X射线成像线站	⊙			⊙	⊙			⊙	
8	高分辨纳米电子结构线站	⊙	⊙	⊙						
9	X射线吸收谱学线站	⊙			⊙		⊙	⊙	⊙	⊙
10	低维结构探针线站	⊙	⊙	⊙	⊙					⊙
11	生物大分子微晶衍射线站					⊙				
12	粉光小角散射线站	⊙		⊙	⊙	⊙				⊙
13	通用环境谱学线站				⊙			⊙	⊙	⊙
14	X射线显微成像线站	⊙		⊙	⊙	⊙			⊙	⊙

工程材料

HEPS 工程材料线站可提供具备强穿透能力，多尺度空间分辨率，高密度灵敏度，高角分辨率，大视场等特点的无损检测手段，原位、无损、多维度、多尺度研究工程材料的微组织结构残余应力分布、制备和加工工艺、载荷与环境、宏观使役性能之间的关系。

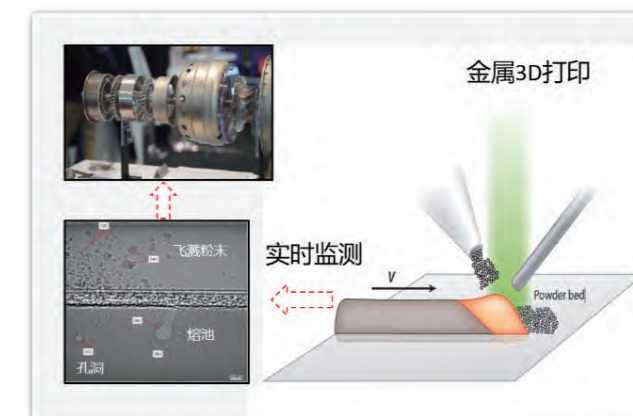
- 衍射衬度断层成像 (DCT)
- 高能 X 射线相位衬度成像
- 衍射消光成像
- 衍射衬度 CT



先进材料

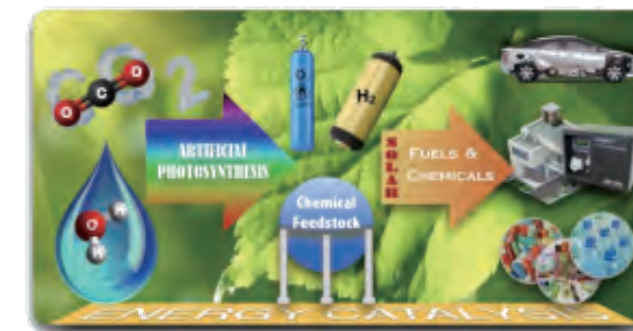
以工业级 3D 打印为代表的先进制造技术是“中国制造 2025”的战略规划中的关键技术。但其复杂加工条件极易带来微结构缺陷和残余应力，极大地影响了材料性能，进而在真实服役应用的过程中面临疲劳和失效等问题。

HEPS 可对材料的加工过程、实际应用下的冲击变形破坏行为进行原位实时诊断，建立微观结构与宏观材料性能之间的桥梁，对于提升材料应用性能和服役寿命显得尤为重要。

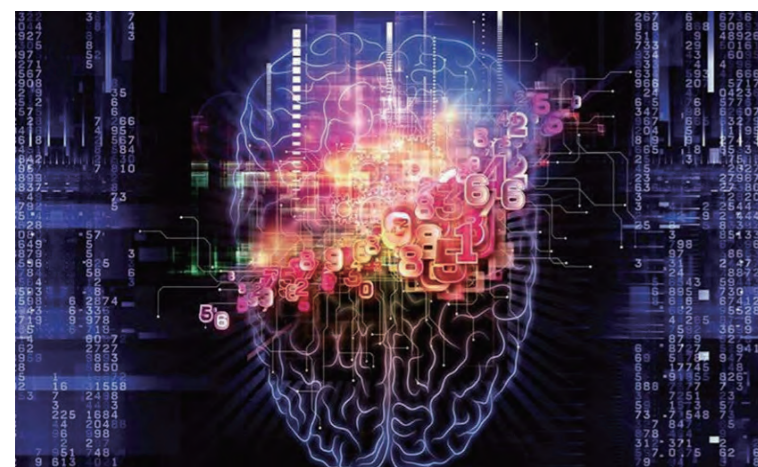


催化与能源

高效、清洁、可再生的绿色新型能源应用的关键是详细了解其中的化学催化反应过程、可控设计制备纳米催化剂和在纳米尺度上实现催化的控制。这些研究需要具有 X 射线能量高、亮度高、时间分辨率高、空间分辨率好、可在原位环境下研究等优点的光源，只有能量较高、发射度极小的同步辐射装置才能提供这些研究条件。



生物医学



“完整器官三维结构与功能的精准介观成像”是生物医学研究迫切需要的变革性技术。核心是突破现有研究手段在大体积样本中（厘米级）难以进行高分辨率三维介观（微米级）成像的瓶颈。

HEPS 的硬 X 射线成像线站提供 SRX 同轴相衬成像方法，在密度灵敏度、穿透能力、辐射剂量和空间分辨率等 4 个方面均可满足脑介观成像的需求，可以同时实现厘米级视场和亚微米空间分辨率。

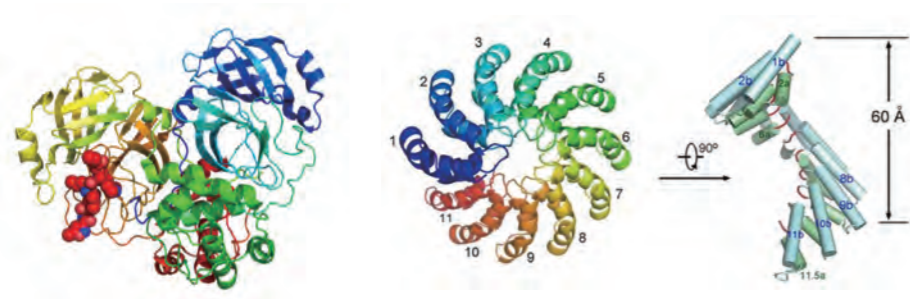
新能源

页岩油气是全球油气资源开发的新亮点。

利用 HEPS 的纳米 CT 技术可以对页岩的结构进行具有纳米分辨率的三维成像，揭示页岩孔隙的空间分布特征，获得页岩孔隙连通性、孔径分布、孔容等参数；利用小角散射方法可以分辨纳米级别的孔隙和不同尺度孔隙的分布，为页岩储油储气特性研究提供科学的数据。

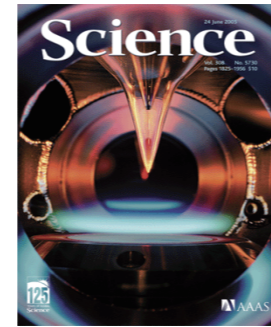


已有光源的代表性成果

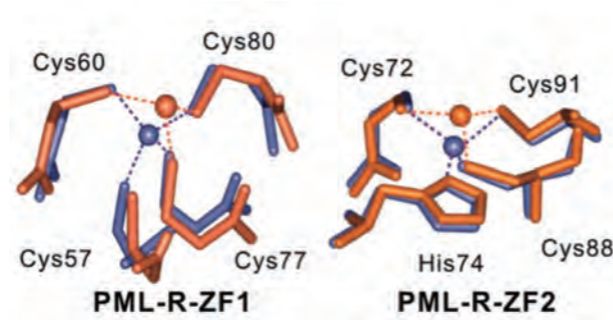
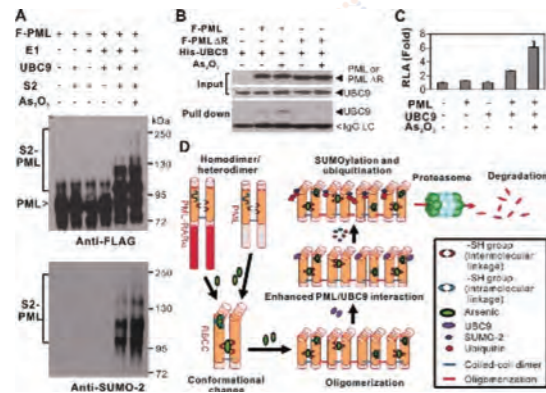


2003年，清华大学的饶子和院士团队利用北京同步辐射装置获得了非典（SARS）病毒主蛋白酶的三维结构，以此为基础仅仅几个月的时间就筛选出了适合成药的化合物。

2012年，清华大学颜宁研究组和施一公研究组利用上海光源，合作解析出 TAL 效应蛋白特异性识别 DNA 的结构基础，这一研究成果入选 2012 年度“中国科学十大进展”。



2005年，合肥光源齐飞教授带领的研究组与美国、德国的科学家合作，首次在实验中发现了一系列的碳氢化合物氧化过程的重要中间体——烯醇，其研究成果发表在 Science 308, 5730, 1887(2005)。



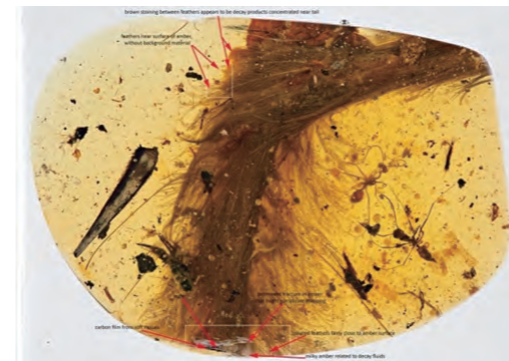
北京同步辐射装置、合肥光源联合研究组，与上海瑞金医院陈竺院士和陈赛娟院士合作，成功解析了多吸收位点复杂体系的原子构象，第一次从分子水平上揭示了中药（“砒霜”治疗白血病）的分子作用机制。合作研究成果发表在 Science 328, 240(2010)，并入选“2010 年中国百篇最具影响国际学术论文”、“2010 年中国科学十大进展”。

同步辐射硬 X 射线相衬成像助力世界第一块琥珀中恐龙标本的发现

2016 年 12 月 8 日，生物学著名刊物《当代生物学》发表了疑似鸟类化石的无损研究成果。

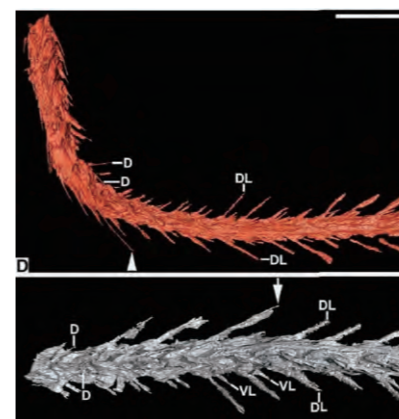
本研究成果由中科院高能所和古生物学家合作完成，双方利用北京同步辐射装置的同步辐射硬 X 射线（SRX）相位衬度 CT、X 射线荧光成像和 X 射线吸收谱以及上海光源的 SRX 相位衬度 CT 等方法，对埋藏在琥珀中且覆盖着毛的疑似鸟类化石进行了多尺度分辨的无损研究。该样品来自缅甸克钦邦胡康河谷，其历史约 9900 万年，属于白垩纪中期的诺曼森阶。

科研人员经过数据的重建、分割、拼接，无损得到了被羽毛和琥珀包围的骨骼的高清 3D 形态，通过研究标本的骨骼形态、羽毛演化，该化石内“扫帚菜”的身份被确定为一段来自非鸟恐龙的尾巴。尾巴标本很小，即便完全展开也只有 6 厘米，由此推测那只小恐龙全长也只有 18.5 厘米。科学家给它取名叫“伊娃”。

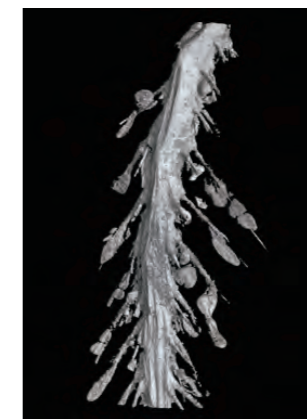


《当代生物学》(CurrentBiology) 杂志属于《细胞》出版集团，其五年影响因子平均达 9.7。根据 Cell 出版集团的统计，该文章在《细胞》发表一天就进入了 Cell 出版集团的热门文章 Top5，被 210 家纸媒报道，总引用量超过 2000 次。美国国家地理、果壳网、腾讯网等当天都超过了 10 万的阅读量。

“伊娃”标本的可见光照片



恐龙尾骨化石的 SRX 相衬 CT 的 3D 复原结果。全体的侧向视图（上）和局部腹侧视图（下）。



恐龙尾骨化石的 SRX-PC-CT 的 3D 复原结果，局部背侧视图。



根据琥珀复原的手盗龙类恐龙 - 绘图 - 张宗达。

07 | 大事记 EVENTS

2019

- 2019年6月29日 ● HEPS 开工启动。
- 2019年6月28日 ● 取得施工许可证。
- 2019年6月24日 ● 施工单位确定：北京建工集团有限责任公司。
- 2019年5月22日 ● HEPS 初步设计概算获得国家发展改革委批复。
- 2019年3月14日 ● HEPS 环境影响报告书获得北京市生态环境局批复。
- 2019年1月31日 ● **HEPS 项目的预制研究项目——HEPS-TF 项目通过国家验收**，通过自主创新和集成创新，高能同步辐射光源验证装置（HEPS-TF）在加速器、光束线和实验站方面取得了超高梯度四极铁、二维 X 射线像素阵列探测器等一系列重大技术成果，为 HEPS 的建设奠定了坚实的技术基础。
- 2019年1月18日 ● HEPS 初步设计方案获得中国科学院批复。

2018

- 2018年12月28日 ● HEPS 可研报告获得国家发展改革委批复。
- 2018年10月25日 ● 取得《自然资源部关于高能同步辐射光源项目建设用地预审意见的复函》。
- 2018年9月13日 ● **HEPS 综合实验楼和用户服务楼项目前期工作函获得批复**。该项目将为 HEPS 不同类型的用户提供实验办公、学术交流、实验培训、安全教育环境等，促进国际合作交流，有效满足 HEPS 建设和运行管理需求。
- 2018年7月20日 ● HEPS 工程科学技术委员会成立，由高能所陈森玉院士担任主任，物理所于渌院士担任副主任。

2018年4月9日

● HEPS 工程经理部成立，全面负责工程具体工作。高能所副所长秦庆研究员担任经理。

2018年1月31日

● HEPS 稳评报告获得批复。

2017

2017年12月15日

● HEPS 项目建议书获得国家发展改革委正式批复。

2017年9月5日

● HEPS 项目园区规划及建筑外观设计方案征集评审结果公布，选定排名第一的、中国电子工程设计院的第一方案“科学航母”（后更名为“显微世界”）为可行性研究报告上报方案，并于 2018 年 3 月获得北京市领导批准。

2017年5月31日

● **先进光源技术研发与测试平台（PAPS）项目开工建设**，紧密围绕我国一系列高水平光源装置的建设和开放运行，前瞻性和系统性地开展核心技术的研发工作，为我国先进光源的建设、运行和不断发展提供有力的技术支持和保证。

2017年3月6日

● HEPS 光束线站遴选会召开，遴选出首期建设的 14 条光束线站名单。

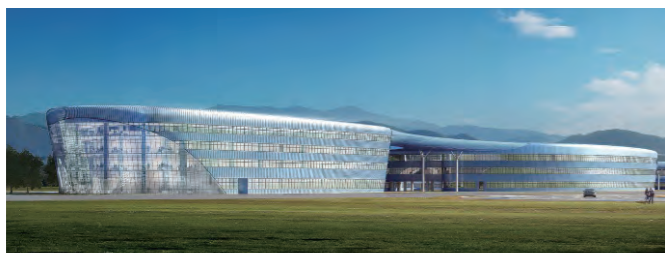
2017年2月23-24日

● HEPS 土建概念设计评审会召开，选定 HEPS 项建书的基建设计方案。

2016

2016年12月23日

● HEPS 列入《国家重大科技基础设施建设“十三五”规划》。



○ HEPS 综合实验楼和用户服务楼项目



○ 高能同步辐射光源验证装置（HEPS-TF）



○ 先进光源技术研发与测试平台（PAPS）项目



北京怀柔科学城管理委员会
The Administrative Committee Of Beijing Huairou Science City

北京市怀柔区杨雁路88号

010-61663600

010-61667431

中国科学院高能物理研究所
Institute of High Energy Physics, Chinese Academy of Sciences

北京市石景山区玉泉路19号乙

100049

010-88235008

010-88233105

heps.ihep.ac.cn

2019年6月 印制



高能所



高能光源



怀柔科学城HSC