

溯源古陶瓷 扫描千年印章 “保鲜”敦煌壁画

# 当核技术与文物相遇，会碰撞出什么？

◆本报见习记者程小雨

静卧于仪器中，等待设备在周身旋转发出X射线，获得断层影像。在医院拍CT，对于人们来说是一个熟悉的体检项目。

在中国科学院高能物理研究所(以下简称中科院高能所)工业CT实验室，登上CT机器进行全身“体检”的对象却有些特殊，它们的身份是一批批古文物。

当核技术与文物相遇，为逝去的历史织入现实的画布时，那些金戈铁马、挥斥方遒的岁月似乎又清晰地浮现于眼前，焕发出历久弥新的光彩。

件古陶瓷残片样品，建立起科学研究的标准样品库。通过标准样品库，揭示若干窗口古瓷胎釉元素组成的产地属性和时代特征，为解决陶瓷考古疑难问题和真伪鉴别提供了科学依据。

陶瓷到底是“古董”还是“新货”，不再成为困惑收藏者的烦恼。不过，闫灵通对记者表示：“对古陶瓷进行身份识别，还得将传统手段与现代科技相结合。既要运用科技检测的方法，也需要‘眼学’来判定。两者相辅相成，缺一不可。”



图为工作人员利用X射线荧光能谱仪测量古陶瓷样品。孙合杨摄

## 为陶瓷“验明正身”

中科院高能所副研究员闫灵通每天“泡”在实验室，与来自不同年代的陶瓷打交道。

“核技术具有穿透性强、非破坏无损分析的独特优点，因此特别适用于研究不可再生的珍贵文物和考古样品。”闫灵通告诉记者，“随着历史演变，瓷器在不同地域间流通，成为社会流动的一部分。我们的日常工作就是利用核技术判断器物的年代和产地，给陶瓷样品溯源。”

溯源的依据，来自古陶瓷胎、釉和色料中元素组成的差异。借助各种元素分析技术，陶瓷的年代与产地不再是谜团。

“反应堆在运行过程中，会放出射线释放中子，样品中的原子经中子俘获后变成激发态。当激发态的原子核从活跃状态回到稳定状态时，会释放出伽马射线。我们可以通过释放的伽马射线，来反推样品里边的元素组成与含量。”闫灵通解释道，“比如博物馆里精美的唐三彩，看似都长得一样，但到底出自哪一个窑址难以用肉眼辨别。运用中子活化分析方法对其元素成分进行测定，就能找到答案。”

过去，肉眼常常成为鉴别文物真假的一把尺。如今，一片珍贵的古陶瓷片，也能够凭借数据手段为其“验明正身”。中科院高能所建立了国内分析样品量和数据量最多的古陶瓷标本数据库。核考古组收集了30余处典型窑址考古发掘出土的、产地和年代地层明确的一万余

## 给文物“拍个CT”

如何在破坏外观的情况下，窥探文物内部的秘密？在中科院高能所，答案是给文物“拍个CT”。

“X射线穿过物质时，会与物质发生光电吸收、散射等作用，X射线的能量被衰减。不同的物质对X射线的衰减能力不同，因而，X射线的衰减可以反映物质的信息。CT成像正是利用这种性质，无损地探知物质内部信息。”闫灵通向记者介绍道。

一枚1300年前布满锈迹的银质印章曾裹挟着厚重的历史，登上中科院高能所工业CT实验台。这枚发源于“青海都兰热水墓群2018血渭一号墓”的印章，一度成为破解墓穴主人身份的关键。

中科院高能所研究人员运用450kV工业CT设备，给这枚1300岁的印章来了个全身扫描。450kV工业CT设备采用独特的线阵探测器进行图像采集，随着无数X射线光子从不同方向穿过锈迹斑斑的印章，刻有骆驼纹样和古藏文的画面逐渐清晰呈现在人们眼前，墓穴主人的身份疑云就此揭开了答案。

体积更为庞大的文化遗迹也会成为科研人员“拍CT”的对象，而这时，能量来源于宇宙射线缪子。

2023年1月，兰州大学核科学与技术学院教授刘志毅带领研究团队，给西安古城墙拍了个“缪子CT”。

团队研发了高精度宇宙射线缪子成像技术及相关设备，选择西安古城墙的58号马面区域作为探测目标，反演结果清晰地展示了在马面墙内部分区域明显

的密度异常体。

“宇宙射线缪子是天然的无损‘探针’，能贯穿上千米厚的致密地层，就像小小的‘侦察兵’，在大型物体内部进行一番‘搜索’后，报告出目标物内部密度分布的图像。比如，金字塔内部的结构、未发掘遗址的布局、石窟石像内部是否存在裂缝，这些问题都能通过缪子成像技术逐步探索，找到答案。”闫灵通向记者介绍道。

## 让壁画得以“保鲜”

泡椒凤爪、酱板鸭、牛肉干……在享受舌尖味蕾绽放的快乐时，人们往往难以留意到，食品包装袋上有一行标注的字样——“辐照食品”。

正是通过辐照灭菌技术，食品得以保鲜、延长保质期。而文物长久“保鲜”的秘诀，同样与核技术密不可分。

在敦煌博物馆，精美绝伦的壁画上演着一场跨越千年的文化盛宴。然而，其中的墓葬壁画常年深埋地下，在高温高湿环境下容易滋生大量微生物。

如何更好地保护敦煌壁画，是时下人们面临的一道必答题。

搭载核技术的“黑科技”成为守护

敦煌的一份子。一款由中科院高能所研发的移动式智能电子束辐照装置正穿梭于敦煌博物馆的文物库房中，只见它灵活地移动着机械臂，顺畅通行于墓室狭小的空间内，对壁画进行全覆盖、无死角的辐照灭菌，将微生物消灭于无形。

“装置发出的电子束打在微生物上，直接或间接地与细胞内的DNA、蛋白质作用，让细胞失活、变性，从而起到消毒灭菌的作用。在这个过程中，对壁画本身的材质、颜料不会造成损伤。相较于传统灭菌方式，辐照灭菌效果也更可控、更绿色，不会产生有毒有害气体。”闫灵通介绍道。

越来越多核技术与考古学的相遇，让“文物开口说话”的夙愿逐渐变成现实。核技术与考古学，在今后如何更好地融合？

“双向奔赴”是其中的关键词。“当我们谈到文物研究时，首先强调的就是别破坏文物、别改变文物结构，而这恰恰是核技术的核心技术优势。在考古学与核技术实际融合的过程当中，既要坚守保护文物的初心，也适当积极引入科技方法，实现科技工作者与文物研究人员的双向奔赴，是我最期待看到的画面。”谈及未来，闫灵通笑着说。



## 核讯快览

# 中国—东盟和平利用核技术研讨会在泰国召开

促进东盟国家与中国在核技术应用领域务实合作

本报讯 当地时间8月16日，由中国国家原子能机构主办、中核集团共同举办的中国—东盟和平利用核技术研讨会在泰国曼谷召开。此次研讨会以“核创未来·核‘美’家园”为主题，旨在围绕工业、农业、医疗、环境治理等领域分享最新成果、聚焦前沿热点，为深化推动中国—东盟和平利用核技术合作贡献积极力量。

国家原子能机构副主任刘敬指出，今年是中国—东盟建立战略伙伴关系21周年，也是构建更为紧密的中国—东盟命运共同体提出11周年。11年来，中国与东盟携手前行、相互成就，经济社会发展取得了长足发

展，在核技术应用领域也结出了累累硕果，不仅实现了核技术领域的产业相通，更实现了民心相通。要全面立足东盟各国发展基础，携手东盟伙伴搭建交流发展平台。

泰国高教科创部次长蓬素·苏查披瓦表示，此次研讨会将有助于促进和平利用核能和区域合作话题的交流，将积极推动东盟国家与中国在核能、核技术及其应用领域的合作与协作，不仅提供宝贵的知识，而且为技术和经验分享提供了绝佳的机会。希望继续推进这一领域的发展，通过创新与合作推动核技术进步，实现更安全、更可持续的未来。

与此同时，中国—东盟和平利

用核技术成果展于8月16日—25日在泰国曼谷IMPACT会展中心举办。本次展览由泰国高等教育部主办，中国驻泰国大使馆、中国国家原子能机构、中核集团承办。

此次展览呈现了“核能三步走”发展战略，开展包括小型模块化反应堆、高温气冷堆、微堆、聚变堆在内的主流核技术科普；展现“核技术助力共建美好家园”成果，如辐照加工解决方案、核医学诊疗解决方案、公共安全解决方案等，旨在进一步加深东盟国家对中国核能、核技术应用和服务的了解，促进东盟国家与中国在核技术应用、清洁能源等领域的商贸往来与务实合作。

程小雨

## 不事先编制脚本，使用真实可控放射源

# 青海举办2024年辐射事故实战化应急演练

本报讯 为进一步贯彻落实总体国家安全观和中国核安全观，提升全省核与辐射环境安全保障能力，检验辐射事故应急处置实战水平，青海省生态环境厅近日在省城市放射性废物库组织开展2024年辐射事故实战化应急演练。省生态环境厅有关处室单位30余人参加演习，投用辐射应急监测车、放射源运输车、放射源搜寻系统、便携式伽马谱仪等专用车辆5辆，监测防护处置仪器设备60余台(套)。

此次演习不事先编制脚本，使用真实可控放射源，重点突出实战化和真实性。演练涵盖了事故报告、应急启动、应急处置、应急终止4个环节，开展实测搜

寻、清污处置等工作，充分展现了参演人员的专业素养和应急能力。

本次演练模拟情景为：省辐射环境工作总站收贮转运废旧放射源及开放性放射性废物货包途中，发生无人伤亡但放射性物品运输车辆侧翻。车辆侧翻导致铅罐内1枚Ⅲ类Cs-137放射源掉出车厢外，内容为β放射源核素钋-90/钷-90的货包破损，并掉落至车厢内及周边区域。

演练按照《青海省生态环境厅辐射事故应急预案》，启动辐射事故Ⅲ级应急响应，成立由厅分管负责人为指挥长的辐射事故应急处置指挥部，经事故分析研判，确定事故类别、应急响应级

别和启动范围。辐射事故应急办、辐射事故调查组、应急监测组、辐射污染处置组与舆情信息组闻令而动，依职责及任务分工迅速行动，果断采取措施，圆满地完成了辐射事故应急处置各项任务。

此次实战演习使参演人员进一步熟悉了辐射事故应急预案，掌握了快速、科学应对突发辐射事故的工作流程，真实检验了厅本级辐射事故应急预案的落地有效性、指挥协调性、装备适应性和队伍协同性，应急演练达到预期效果，为下一步全面加强核与辐射事故应急能力建设提供了真实可靠的实战依据。

刘红

## ◆本报见习记者程小雨

8月19日，国务院总理李强主持召开国务院常务会议，决定核准江苏徐圩一期工程等5个核电项目。

会议强调，安全是核电发展的生命线，要不断提升核电安全技术水平和风险防范能力，加强全链条全领域安全监管，确保核电安全万无一失，促进行业长期健康发展。

据了解，此次核准的5个核电项目分别为江苏徐圩一期工程、广东陆丰一期工程、山东招远一期工程、浙江三澳二期工程、广西白龙一期项目，共计11台核电机组，数量创历史新高。

## 多采用我国自主研发先进核电技术

此次核准的11台机组，分别位于江苏省、广东省、山东省、浙江省、广西壮族自治区，均为沿海省份(自治区)。

江苏徐圩核能供热发电厂项目隶属中国核工业集团有限公司，项目位于江苏省连云港市，一期工程拟建设两台“华龙一号”压水堆核能发电机组和一台高温气冷堆核能发电机组。

这个项目采用我国具有完全自主知识产权的第三代核电技术“华龙一号”和第四代核电技术高温气冷堆组合方案建设核能供热系统，创新采用“核反应堆—汽轮机发电机组—供热系统”协同运行模式，建成后将为连云港万亿级石化产业基地大规模供应高品质低碳工业蒸汽。

山东招远、广东陆丰、浙江三澳项目隶属中国广核集团有限公司，拟建山东招远1、2号机组，广东陆丰1、2号机组，浙江三澳3、4号机组共6台机组。6台核电机组中，“华龙一号”机组占据主导，标志着我国自主三代核电“华龙一号”批量化建设取得重要进展。

据测算，单台“华龙一号”核电机组年发电量近100亿千瓦时，能够满足100万人口的生产生活年度用电需求，每年可减少标煤消耗超270万吨，减少二氧化碳排放量超740万吨，对促进能源绿色转型具有重大意义。

广西白龙核电一期工程隶属国家电力投资集团有限公司，位于防城港市江山半岛的最南端，东、南、西三侧临海。广西白龙核电一期工程1、2号机组采用CAP1000三代非能动核电技术，单台机组容量为125万千瓦，计划工期56个月，两台机组投资约400亿元。

据了解，CAP1000是我国三代核电引进、消化吸收和再创新“三步走”国家战略决策第二步的实施成果。在引进的三代AP1000非能动核电技术基础上，由上海核工院通过自主设计和改进形成标准化设计的国产化先进核电机组型号，全面实现了百万千瓦级三代非能动大型商用核电厂设计自主化、设备国产化、工程建造自主化，其成功研发标志着我国已全面掌握非能动核电技术。

## 我国核电项目正有序推进

8月11日，中共中央、国务院正式对外发布《关于加快经济社会发展全面绿色转型的意见》(以下简称《意见》)，对加快经济社会发展全面绿色转型进行系统部署。

《意见》指出，“加快西北风电光伏、西南水电、海上风电、沿海核电等清洁能源基地建设”，明确将加快沿海核电清洁能源基地建设。

此次核准的核电项目涉及省份(自治区)中，有多个省份(自治区)已将大型核电项目列入地方“十四五”规划。

陆丰核电项目所在地广东省，在《广东省能源发展“十四五”

# 国务院常务会议核准五个核电项目

共计十一台核电机组，数量创历史新高

规划》中提出，在确保安全的前提下，高效建设惠州太平岭核电一期项目，积极有序推动陆丰核电、廉江核电等项目开工建设，并推动后续一批项目开展前期工作。

招远核电项目所在地山东省，在《山东省能源发展“十四五”规划》中提出，围绕打造胶东半岛千万千瓦级核电基地，按照“3+2”核电总体开发布局，积极推进海阳、荣成、招远三大核电厂址开发，建成荣成高温气冷堆、国和一号示范工程，开工建设海阳核电二期等项目。到2025年，核电在运装机规模达到570万千瓦。

在安全得到保障的前提下，我国核电项目正有序推进。2022年—2023年连续两年，每年核准的核电机组数量均达到10台。2019年—2021年，分别核准核电机组6台、4台及5台。此次核准的5个核电项目，核电机组数量已达到11台，创下历史新高。

中国核能行业协会数据显示，截至2024年6月30日，我国运行核电机组共56台(不含我国台湾地区)，装机容量为58218.34MWe(额定装机容量)。2024年1—6月，全国运行核电机组累计发电量为2122.61亿千瓦时，同比上升0.18%；累计上网电量为1998.95亿千瓦时，同比上升0.49%。

核能作为一种清洁能源，在降低煤炭消费、有效减少温室气体排放、缓解能源输送压力等方面具有独特的优势和发展潜力。核电项目的稳步推进，将为我国实现“双碳”目标、助力全球能源转型和可持续发展作出更大贡献。

## 他们为核安全把关



2024年入夏以来，辽宁省大连市气温持续走高。为保障红沿河核电站取水安全，生态环境部东北核与辐射安全监管站监督员不畏酷暑，奋战在一线，持续开展监督工作。图为监督员检查水母监测情况和取水安全保障设备运行情况。

杨超群摄

## 邀请公众体验电磁环境监测制作科普微视频

# 江苏多形式开展核安全宣传

本报讯 “原来输变电设施不能形成有效的电磁辐射”“人体也是小小放射源”“原来电离辐射无处不在”……

江苏省常州市委网信办、常州市生态环境局、国网常州供电公司近日联合组织“凝聚科学共识，共促绿色发展”活动。活动期间，20余名志愿者参观了国网常州供电公司新型站网互动中心，听专家讲解答疑，了解关于变电站、充电桩、电动汽车、光伏发电的专业知识。

本次活动，志愿者们参观了互动中心设备区，并现场参与配电箱、充电桩、电动汽车、光伏发电等工作场景的电磁环境监测，发现这些指标均远低于国家标准限值。常州市生态环境局核与辐射环境管理处处长金栋介绍了辐射及新能源设施相关科学知识，并与南京理工大学教师林炬等为大家现场答疑解惑。

志愿者丁超表示：“这次活动通过数据和现场实测，让我们了解到辐射对日常生活影响其实很小。比如高压配电房，它不产生电磁辐射，工频电场和工频磁场的测量是国家标准的1%以下，几乎与天然本底相差无几。”

江苏作为核技术应用大省，近年来核技术应用产业

高速增长，为了让公众更加理性地认识核，推动核技术应用产业安全、积极、有序发展，江苏省核与辐射安全监管中心牵头全省13个设区市生态环境局线上线下齐发力，不断创新核科普形式，通过多种形式积极开展核安全宣传。

针对公众易混淆辐射剂量概念的情况，江苏省核与辐射安全监管中心精心制作了3集微视频，科学解释核与辐射计量标准的基础概念，包括辐射剂量单位小知识、电离辐射的“度量尺”、辐射监测的“词汇宝典”等。

“核福社”系列科普微视频也已经推出100多集，通过国家核安全局官网、江苏“核福社HFS”官网和微信公众号、腾讯视频等渠道进行播放，观看次数超过420万人(次)，在核与辐射安全科普工作方面取得了良好的效果。

“我们正在开展核福社云科普馆的二期升级改造，主要包括核技术应用和电磁辐射展区。通过改造，可提高公众参与度，增强互动体验，计划今年年底前完成。”江苏省核与辐射安全监管中心副主任张平说。

李苑 金栋 周程 王一平