

近日，四川广汉三星堆遗址考古发掘成果再次惊艳世界，出土了奇异瑰丽的青铜面具、人像、神树等琳琅满目的文物，对于揭秘古蜀文明之谜有重要意义。值得注意的是，本次考古综合应用了一大批现代科技，特别是现代数字技术，发掘现场可以说是大型国家级科技实验室，是中国现代科技的

“秀场”。本报特邀中国社会科学院考古研究所研究员刘建国围绕现代科技特别是数字技术在考古领域的应用进行系统阐释，以飨读者。

——编者

数字考古是在计算机技术支持下，考古学研究中集成运用现代测绘、遥感、三维重建、数据库、地理信息系统、虚拟与增强现实和网络通信等技术，全面采集和运用考古现场各种空间信息进行综合分析、研究的理论和方法，是信息时代考古学发展的必然趋势。数字考古从考古现场空间信息的获取、制图出发，到数据库建设、空间分析与模拟、虚拟与增强现实展示，再通过网络通信进行数据传输与共享，最终为考古学研究、文化遗产保护、数据存档等提供支持。

数字考古研究经过十年来的迅猛发展，理论与方法日趋完善，很多相关领域的应用能够与传统考古学研究紧密结合，电子全站仪与卫星定位系统测绘、遥感影像解读、无人机拍摄、多视角三维重建、地理信息系统与数据库建设、分析、模拟等已经成为田野考古工作的常规技术与方法。通过三维重建技术全方位地获取考古现场的空间信息，为考古学研究、文化遗产保护、虚拟与增强现实展示、数据存档等开辟了全新的拓展空间。

习近平总书记指出，要运用科学技术提供的新手段新工具，提高考古工作发现和分析能力，提高历史文化遗产保护能力。今后数字考古研究要不断创新，实时引入人工智能、机器学习、专家系统、数据挖掘、模式识别等最新数字技术发展成果，深入探讨传统考古学研究的问题，教育引导广大干部群众特别是青少年认识中华文明起源和发展的历史脉络，认识中华文明取得的灿烂成就，认识中华文明对人类文明的重大贡献，不断增强民族凝聚力、民族自豪感。

现代测绘

现代测绘技术是信息产业中的重要组成部分，分支学科很多，涉及面较为广泛。田野考古工作中一般运用卫星定位系统和电子全站仪进行测绘。

卫星定位系统是以人造卫星系统为基础，以无线电为通讯手段，依据天文大地测量学的原理，实行全球连续导航和定位的高新技术系统，具有全球性、全天候、高精度、快速实时的三维导航、定位、测速和授时功能，以及良好的保密性和抗干扰性。静态后差分的测量方式能够达到毫米级的平面精度，实时差分测量能够获得厘米级的平面精度，在田野考古测绘中具有定位精度高、设计和布点方便、作业条件要求低、工作效率高等优点。卫星定位系统也存在一些缺陷，在沟槽、洞穴、地下墓葬等环境中不能接受卫星信号而无法进行测量。

电子全站仪是20年前开始普遍使用的一种测量仪器，可以方便、快捷地进行高精度的角度、距离、高程、坐标等测量工作，能够满足各种文物考古测绘工作的需要，可以与电子计算机联机作业，配合相应的测量软件，自动将电子全站仪测量数据传输到计算机中进行成图。电子全站仪一般都具有激光测距功能，不使用棱镜就可以测量出空间点的三维坐标，便于测绘石窟、古建筑等不便架设反射棱镜的场所。

由于卫星定位系统和电子全站仪只能获取空间点的三维坐标，目前在田野考古现场的使用越来越少，很多时候只是用于考古遗址或发掘现场进行多视角三维重建等工作时精确测量控制点三维坐标的工作。

遥感考古

遥感考古是从航天飞机、卫星、飞机、无人机等不同空间位置上，运用摄影机、扫描仪、雷达等成像设备，获取考古遗址的影像资料，然后运用计算机图像处理技术，对影像数据进行增强和处理。同时，根据遗址范围内地表特征及其光谱成像规律等的相互关系，对影像的色调、纹理、图案及其时空分布规律进行研究，判定遗迹或现象的位置、形状、高低起伏等特征，进行考古遗址探查、测量、三维重建等工作，为考古勘探和研究提供重要信息。

考古遗址的遥感影像中包含有丰富的地面信息，通过对其中植被、水体、土壤、岩石等图案特征进行分析，有时可判读出地面或浅表地层中遗迹的分布情况。因为遗迹与其周围环境中土壤等的结构方面存在差

异，导致土壤色泽与含水量不同、植被生长分布异常、土壤侵蚀差异、特殊地貌特征等。在遥感影像中可能会以特定的图案显示出来，形成考古遗迹的影像标志，成为遥感影像的解释依据。

遥感考古具有速度快、周期短、方法灵活等特点，能够对考古遗迹进行无损分析、测绘成图、变化分析、三维重建等工作。特别是早期遥感影像记录了很多已经改变的地面信息，能够提取很多重要考古遗迹的位置、形状等信息。现代高分辨率的卫星影像立体像对、无人机拍摄的低空影像等可以直接生成高分辨率的数字正射影像图和数字高程模型，能够清晰地展示考古遗迹的微型起伏，便于判读遗迹的结构、分布等特征，并可以制作考古遗址地形图。

多视角三维重建

多视角三维重建技术是以数码相机作为影像获取工具，从不同角度围绕被拍摄目标获取多幅数字影像。根据计算机视觉和数字摄影测量原理，在高性能计算机中对获取的全部数字影像进行相互匹配，生成被拍摄目标的表面三维点云，再自动生成纹理后得到具有真实纹理的数字三维模型。

多视角三维重建的设备成本和操作难度都较低，能够自动生成点云和纹理，而且点云与纹理严格对应，精度很高，建模效果很好，能够节省大量的人力、物力和时间，近年来在文博、考古领域得到了极大的重视，已经成为田野考古与文化遗产保护现场空间信息获取的主要手段。运用多视角三维重建技术可以全方位地获取考古发掘现场、出土文物、考古遗址等的空间信息，能够制作从几厘米石器制品到边长数公里大型考古遗址的数字三维模型，自动生成真实纹理，通过三维坐标控制点对三维模型实施控制之后，使模型上每个空间点都具有准确的三维坐标，便于测量距离、面积和体积。三维重建技术为考古学研究、文化遗产保护与博物馆虚拟展示、数据存档等提供不同平面、立面、剖面的数字正射影像图、数字表面模型、数字三维模型等重要成果。全面获取的各类文化遗产三维空间信息，也极大地提升了遗址与遗迹测绘、器物绘图等的速度和精度。

地理信息系统

地理信息系统是由计算机硬件、软件、地理数据和人设计的有效地获取、存贮、管理、更新、操作、分析和显示所有地理信息的集

成应用系统。作为计算机、地理、遥感、测绘、统计、规划、管理和制图等学科交叉运用的产物，代表了现代计算机应用技术和其它学科相互渗透的发展方向。考古地理信息系统是以考古现场获取的空间数据与属性数据为基础，在计算机软件和设备的支持下，运用系统工程和信息科学的理论，对与空间分布有关的数据进行采集、操作、分析、模拟和表达，为考古研究和分析模拟等提供支撑的技术系统。

考古调查和发掘中获取的资料都具有三维空间位置属性，考古遗址的位置和范围可以通过空间数据来表达，发掘出土的遗迹、现象乃至器物或陶片等都可以用准确的三维坐标数据来表示其空间位置和形状。运用地理信息系统建立多重考古空间信息与属性信息并存的数据库和图形图像库，具有考古空间信息显示和查询、图文互访、修改编辑、图形图像生成与输出、多重数据的访问和显示等功能，同时还具有多重空间分析功能，诸如距离分析、通视与可视域、预测模型、区域模拟等分析都能够得到考古研究中得到很好的应用，特别是在区域考古研究中，可以分析一个区域乃至一个遗址中古代聚落的分布与演变特征，探究古人与自然环境之间的依赖

与改造关系，揭示遗址的形成过程。

虚拟与增强现实

虚拟与增强现实是运用计算机技术生成逼真的视觉、听觉、触觉乃至味觉等虚拟的三维感观世界，用户可以直接使用人的技能和智慧对生成的虚拟实体进行考察和操纵。虚拟与增强现实技术可以生成逼真的三维古代环境、古代城市、考古遗址、发掘现场、出土文物等，甚至可以配合相关的声音乃至气味等信息。虚拟与增强现实技术可以根据考古调查、发掘过程中采集的数字三维模型数据进行一系列设置，通过计算机、虚拟眼镜等真实地重现考古发掘现场或遗址形成过程等重要场景。

虚拟与增强现实的用户不仅可以显示和观察考古现场，而且能够与虚拟考古的对象进行交互，具有从外到内或从内到外观察和操纵考古数据空间的功能。考古学家可以充分地利用考古现场获取的空间信息，从不同角度使用多种方式探究考古学的问题，拓展了视野，提升了数据的利用率。观众可以跨越时间和空间，非常直观地感知千里之外的考古现场，领略考古学家所揭示的古代社会“真实”面貌，走进视、听、触、味等效果十分逼真的虚拟考古世界，真正体验身临其境的感觉。同时减轻重要考古现场的观众参观压力，保护脆弱的文物与遗迹。

数据库

考古数据库是由考古空间的相关信息组成的多媒体混合体。考古



刘建国肖像画。本版画家 张武昌绘

武昌

信息的数字化已经成为必然趋势，考古调查、发掘和研究中的各种信息都应该按一定的方式输入到数据库中，才能够进行高效的管理和应用研究。考古数据库的信息量必将越来越大，为了让用户能够迅速得到自己需要的信息，必须建立详细的目录索引，以便可以了解有关考古遗址的名称、位置、年代、调查与发掘日期、次数、数据格式以及影像分辨率等信息。考古数据库中应该包含考古调查、发掘和研究中的各种记录、图表、图形、图像、音频、视频、论文、报告、数据等，地图数据等还要求记录数据的来源、投影方式、坐标系统、数据质量、编码方案、采用的标准以及数字化方式、时间、人员等一系列描述信息。

随着各种考古数据库的建立，数据挖掘技术将会得到广泛运用。数据挖掘是指综合运用人工智能、机器学习、专家系统、模式识别、统计学、可视化等技术，从考古数据库的海量数据中筛选出隐含、未知、具有潜在价值的信息，并进行归纳性推理，探讨和阐释考古学的疑难问题。

网络与通信

网络技术是近30年来发展起来的新兴科学技术，通过交换机、路由



刘建国（中）与业内专家讨论数字考古案例。

器及设备将数量庞大的服务器和计算机链接起来，实现数字资源的全面共享和有机协作。互联网、移动通信等技术的发展同样深刻地影响着考古学研究，考古人员已经习惯于通过网络发布、传送最新的考古信息和资料，开设网上考古论坛、讲座等。重要的考古发掘现场可以迅速组织相关领域的专家召开视频网络会议，针对急需解决的问题进行共同研讨，为脆弱文物的提取和保护赢得极其宝贵的时间和最佳方案。

同时，多人共同参与的田野考古调查、发掘与研究等工作，也需要通过网络上传各自的工作成果，最后形成完整的考古调查、发掘或研究数据库。通过网络云服务，考古研究人员或学生可以从远程的考古、文献、环境、水利、植被等数据库中调用全国乃至全球范围内的海量数据，进行全面分析、研究和显示，提取重要的考古研究材料。甚至可以通过云计算，轻松获得研究所需的各种数据、影像、图表等计算成果。

（作为中国社科院考古研究所研究员、中国社会科学院习近平新时代中国特色社会主义思想研究中心特约研究员。近年来，他全面系统阐述“数字考古”概念并集成运用多种现代数字科技对考古现场的空间信息进行提取、编辑、制图、分析、模拟等研究，推动中国考古研究信息化进程。）

科技名家笔谈

本版携手科学出版社推出

天津智慧能源小镇助力「碳达峰」

本报记者 靳博

造型颇具未来感的光伏座椅，两侧分别有光伏垃圾桶；绿色公建能源集控站里，市民可以在此体验无线网络、汽车充电、多媒体等服务，所有的电能来自建筑本身的光伏发电……“来这里跳舞都不用带音箱，一边连着光伏座椅的蓝牙音箱，一边给手机无线充电，省流量又省电量。”居民王攀表示。

这一幕出现在中新天津生态城甘露溪公园的惠风溪智慧能源小镇。这是全国首个城市智慧能源公建项目，将绿色能源与智慧能源小镇公建进行了深度融合，创新绿色能源与公建应用场景，深化小镇公建新能源使用体验，展示了可再生能源清洁低碳用能新模式。

3月16日，具有“生态宜居”“产城集约”两种典型智慧能源小镇——惠风溪智慧能源小镇和大张庄智慧能源小镇在天津全面建成并对外发布。两个小镇区域供电可靠性、清洁能源利用比例、电能占终端能源比重、综合能源利用效率等核心技术指标均达到国际领先水平。

天津智慧能源小镇创新示范工程是国网天津市电力公司智慧能源体系建设的组成部分，也是融入“碳达峰”“碳中和”发展大局的重要举措。国网天津电力选取中新天津生态城（惠风溪）小镇和北辰产城融合区（大张庄）小镇作为示范区，先行分别打造了“生态宜居型”和“产城集约型”智慧能源小镇，效果初显，攻克了一系列关键技术难题，涵盖了集中式储能、虚拟电厂、智慧能源建筑等20个项目。建成后的智慧能源小镇，清洁能源消费达到90%。

在北辰大张庄智慧能源小镇商务中心，风机、光伏板、地热热泵构成的供能系统，使风、光、地热等多种能源因地制宜、就地利用，实现能效最高、能耗最低。“我们搭建了智慧能源管控平台，让客户以最低的用能成本进行生产办公。”国网天津城东公司客户经理白辛雨介绍，在商务中心，近40%的能源供给来自可再生能源，配备的储能设备不仅可以解决分布式电源出力不稳定问题，而且可以利用夜间低谷电蓄能，在白天用电高峰时供能，通过峰谷电价差为客户节省一笔电费支出。

同时，智慧能源管控平台实时监测大楼房间的温度变化，自动调节地热热泵的冷热出力，每年可以为楼宇节省用能成本100多万元。不仅楼宇实现了智慧用能，国内首个智慧能源工厂的落成也为制造业提供了高品质的供能方案。在一汽富维本特勒汽车零部件（天津）有限公司，国网天津电力根据生产线的设备特性、电压敏感度、影响损失等因素，实时分级治理电能质量，对精密加工生产线加装智能控制系统，可以实现毫秒级消除电压波动，降低了废品率，企业每年可以增收100多万元。

生态城小镇用户类型齐全，既涵盖工业、服务业用户，也涵盖政府和居民用户；融入基础设施广泛，全面融入供电、供水、供气、供热、交通、通讯、绿化、文化和体育等城市基础设施；应用场景丰富，涵盖电气冷热多能源、源网荷储多环节、生产生活多场景智慧能源应用和服务的城镇能源互联网示范工程。生态城智慧能源小镇还特别修建了一座零能耗智慧建筑“0+小屋”，融合了“被动式”建筑与“主动式”能源供应技术，通过在屋顶、路面等可用空间铺设光伏板，配合储能设备构建起微电网，实现建筑用能自给自足和余电上网，为实现“碳中和”减排目标做出了示范和引领。

据了解，国网天津市电力公司将利用两年时间，在滨海新区建设国际领先的能源互联网综合示范区，建成“生态宜居智慧能源服务、智慧港口绿色能源供应、园区高可靠能源保障、多产业高效能源利用”四大典型能源发展业态，形成整体示范效应，引领天津能源互联网建设。预计到2025年，天津电网将初步建成国际领先的能源互联网。

传统体育进幼儿园

近日，江苏省东台市许河镇中心幼儿园举行传统体育进校园活动，小朋友体验武术操、棍棒操、红拳操、太极扇等传统体育项目。（人民图片）



「数字考古」尽显中国「科技范儿」

刘建国



刘建国采集文物数字化信息。