

金属文物价值认知包括信息提取和综合阐释两个方面。前者重在文物的成分、结构、功能、工艺等关键信息的系统获取与科学表征；后者则强调自然科学与人文社会科学的交叉融合，深入挖掘金属文物的多元内在价值。实现上述目标，都需要诸多关键技术提供支撑。

延伸阅读

近年来，中国科技考古领域发展迅速，其中对金属文物价值认知的研究，已经在一些关键技术方面取得了重要进展。为此，本报记者（以下简称“问”）采访了北京科技大学科技史与文化遗产研究院院长、国家重点研发计划“可移动文物价值挖掘及关键技术（无机质类）”项目首席专家潜伟教授（以下简称“答”）。

金属文物印证了人类文明发展历程，采用科技手段进行价值认知是金属文物科技研究的趋势

问：金属器具的使用，是人类社会进入到文明阶段的重要标志之一。中国历史悠久、规模庞大的金属文物有哪些特点？

答：金属文物印证了人类文明的发展历程，蕴含着丰富的价值与内涵。一个国家或民族的金属文物，反映了其文明发展进程。中国的金属文物也是如此。

比如，中国商周时期的青铜器使用了独特的范铸技术，以此形成独特的艺术造型以及繁复精美的纹饰。这使得当时的青铜器具有明显区别于其他地区的典型特征。再比如，中国是铸铁技术的发明地，春秋战国时期发明了液态生铁的冶炼方法，生产出铸铁产品；通过后续的热处理和脱碳技术，再得到各种钢材，从而形成了独有的生铁和制钢技术，而欧洲直到公元12、13世纪才开始出现生铁冶炼技术。

冶铜、冶铁技术并不是在中国最早出现，但是历史上中国人在先进的高温技术条件下，在铸造技术方面取得了很大的发展，与西方擅长的锻造技术有明显的不同。可以说，中国金属文物真实记录并反映出中华文明形成和发展进程中技术的演变。

链接

中国发现的最早青铜器



这是迄今为止中国发现的时代最早的一件青铜器，为单范铸成，于1978年在甘肃东乡林家出土。1981年，北京钢铁学院（现北京科技大学）冶金史专家检验出其金属成分为铜锡混合物。（图片来源：中国国家博物馆网站）

中国金属文物科技研究重点，集中于材质分析检测、工艺重建和产地溯源，以此探知历史原貌及影响

问：目前，中国在金属文物科技领域的重点是什么？

答：目前来看，中国金属文物科技的研究重点，集中于通过现代科技手段分析检测金属文物的材质和工艺，以及产地溯源，关注金属文物的物料来源、生产工艺、组织方式和产品流通等问题，以及其对中华文明形成和发展的影响。

比如对二里头青铜器的研究，从造型上可知，其与同时期的陶器器物类型相似，可以证明是中国本地生产的。通过成分分析可知其主要为铜锡合金，因此，现在还要关心其铜锡合金的合金化是如何实现的。通过对二里头遗址发现的铸造遗址研究可以探知，其往往是先从他处运来铜料，在此地铸造并同时加入锡料进行合金化。

对三星堆青铜器的研究，通过显微CT等技术对一号坑、二号坑的神树进行研究，发现其铸造工艺与中原青铜器是一致的，许多纹饰也可以在中原青铜器中找到相似的，说明其文化与中原地区的商代青铜文化是同根同源的，反映了中华文明多元一体的格局。当然，因为尚未发现青铜冶炼铸造的遗址，其产地来源还待进一步的研究，特别是其高放射性成因铅的来源问题，还

未得到解决，铅同位素比值方法可能会帮助寻找矿产资源及冶炼地。

再比如铁器，通过对早期铁器的显微组织和成分分析，发现有块炼铁和铸铁两种工艺，特别是公元前6世纪以后，铸铁及铸铁制钢的产品数量明显增多。

问：这些发现能够说明什么呢？

答：块炼铁不宜大规模生产，对农业和农业发展贡献有限；而中国铸铁技术发明以后极大地改进了这点。现在通过材质检测，可以证明中国铸铁比块炼铁的比例高，证实了铸铁与农业的关系。中原地区逐渐发展出来了铸铁的技术，能够高效大量生产铁兵器和铁农具，这对中国农耕文明的稳定和发展起到了巨大的作用。

问：从全球的发展来看，对金属文物的研究都通过哪些方式开展？

答：一般来讲，使用现代科技手段分析检测金属文物的成分、组织结构是目前最常用的方式。

金属文物科学研究方法通常是首先经过取样制样，进行金相研究也就是在显微镜下观察研究其形貌特征和组织结构，从而判断加工工艺；再通过扫描电镜能谱分析进行样品和微区的成分分析，获得整体和局部的成分结果；有的还用激光剥蚀等离子体质谱分析等手段获得夹杂物或微观相的更精确的成分数据。

进入21世纪以来，以材料表征技术为代表的现代科技手段在金属文物价值认知研究中的应用已趋于常态化。目前，国际上的主流研究模式是在大量获取金属文物分析检测数据的基础上，甄选并构建精确反映其原料、生产、流通与使用过程的特征指标体系，揭示其制作技术起源、发展、演变规律及其与社会其他方面的相互关系。

问：现在对于金属文物的研究，与原来相比有什么不同，为什么原来的方法“不够用”？

答：金属文物与其他金属类检测分析的目标并不完全相同。文物价值的多元属性决定了其关键信息和数据具有复杂性和多样性，简单移植通用的技术方法已难以满足研究需要。

比如，金属文物常常带有锈迹，扫描时难以避免锈蚀的干扰，造成成分分析数据不准确。以前的分析检测往往是取样分析，对文物也会造成一定的破坏，期待开发出来更准确的无损分析方法。还有各实验室因为仪器设备等不同，造成所得数据的可比性或者说可通约性比较差，影响了进一步的综合研究。

此时，就需要做好一些基础的工作，需要在成分分析的时候引入标准参考物质，也就是我们常说的标样。国际上已经有了一些铜锡青铜标样，但是对于中国青铜器常见的高锡青铜、高铅青铜的实际情况，却缺乏这个组分的可靠标样。

另一个基础性工作，就是需要统一金属文物分析检测方法以及多元信息提取的标准，减少人为因素干扰造成的分析结果不准确的情况。比如，判别铁器加工工艺时，以往通过金相观察和扫描电镜只可以简单判别；但如果这个铁器文物是经过反复加工的，使用了较复杂的工艺，那传统的方法就不够用



潜伟（右二）研究团队在研究金属文物。魏东摄



中国科技工作者研制的青铜文物成分分析标样。



陶器、青铜器、铁器、瓷器和玻璃等文物，不仅展示了中华文明的灿烂成就，也实证了中华文明起源与发展的历史脉络以及对世界文明的贡献。

金属文物科研中国迈向前沿

——访北京科技大学教授潜伟

本报记者 齐欣



铜是人类最早认识和使用的金属之一。到新石器时代晚期和夏代早期，中国已进入青铜时代，而到高周时期，青铜文化发展到鼎盛并逐步扩大影响范围。这件西汉时期的提链青铜壶于1955年在广西壮族自治区贵县出土，具有汉式特点，反映了秦汉以来越汉两族杂居，相互影响，逐渐融合的趋势。（图片来源：中国国家博物馆网站）

了，不能得到令人满意的结果。

中国对金属文物的科学研究方兴未艾，在许多方面已经处在世界领跑位置

问：目前，金属文物科技研究的水平到了哪个阶段？

答：回顾金属文物的研究历史，大体也可以分成这么几个阶段，早期的金属文物的类型学研究，通过比较不同地区文物的外形特征，可以进行文化的分区，可以看成是博物学传统；接着是金属文物研究的数理科学传统，对金属文

物开展的各种物理化学的检测分析，通过数理统计等方法，判断金属文物的材质、工艺、产地来源等；再接着是金属文物研究的实验传统，可通过模拟实验摸索制作工艺，实现工艺重建。

现在，对金属文物的研究已经发展到了大数据时代。通过对金属文物数据进行整理、清洗，形成有效的数据库，进而建立中国古代材料基因库，通过数据挖掘、人工智能等，实现金属文物价值的挖掘和活化利用。

问：中国对金属文物的研究水平如何？

答：近年来，我国金属文物价值认知研究方兴未艾，已经取得了长足进步。突出表现在以现代科学技术为支撑、多学科交叉研究的范式已初步形成。目前，我国学者在国际主要期刊《考古计量学》和《考古科学杂志》发表的关于金属文物研究的论文数量居世界前列。北京科技大学还主办了世界上第一份古代材料研究为特色的国际学术期刊《古代材料研究进展》。中国的科技工作者也在着手准备成立国际材料科技文明史学会。可以说，我们在相关领域已经跟跑、并跑，现在进入到领跑的发展阶段。

研制出青铜文物标样，提出古代钢铁材料夹杂物分析辅助加工工艺判别的方法

问：在金属文物领域的研究，中国科技工作者能为世界遗产作出什么贡献？

答：2020年启动的国家重点研发计划“可移动文物价值挖掘及关键技术（无机质类）”项目，包括金属文物价值挖掘及关键技术的研究课题，目的就是针对上述金属文物分析检测中的一些关键问题开展攻关研究。目前这一项目已接近尾声，取得了许多成果。

中国各地的博物馆大多汇集有各时期的当地金属文物藏品，证明着中华文明璀璨的历史。湖北省博物馆馆藏文物达24万余件（套）。曾侯乙编钟和越王勾践剑占据了展馆最为醒目的位置，每天吸引了最多的参观者，是名副其实的“镇馆之宝”。本报记者 齐欣撰

比如，在金属文物的标准参考物质方面，中国科技工作者着重进行了青铜文物标样的研制。由于青铜合金的成分偏析严重，制作达到符合要求的均匀性和准确性的标样难度很大。目前，我们已经研制完成了新的4种标样，主量元素锡含量分别为10%到25%，铅含量从0%~5%，可弥补已有标样的成分区间空白。

制备完成的青铜标样，分别提交给国内的研究机构如中国社会科学院考古研究所、中国国家博物馆、北京大学、中国科学院大学、陕西省考古研究院等机构的相关实验室，采用不同的分析方法进行了测试。

问：“标样”是不是极大提高了对青铜文物的研究判断水平？

答：是的。我们将各个实验室的测试分析数据进行汇总，再与标样的参考值进行比较，从而验证了各实验室分析方法的精确度、准确度，也实现了实验室之间这个数据的可再现性。用标样校准分析仪器，是获得准确分析结果的前提。本套标样的推广应用，可以满足金属文物科学分析对标样的需求，能够使研究者的分析数据更加具有公开性和可比性，促进了数据的共享，也为青铜成分分析数据的有效积累与大数据研究奠定基础。

延伸阅读

基于夹杂物分析的铁质文物加工工艺判别方法，是铁质文物科学价值认知的关键技术。中国科技工作者着重开展了炒钢、灌钢等工艺的研究。炒钢是一种在半熔融状态下将生铁炒炼成熟铁的工艺，中国古代多数熟铁制品是炒钢而成；灌钢是一种将生铁和熟铁合炼成高碳钢的工艺，是中国古代制备高质量刀剑的常用方法。

问：在铁器制作中会产生不同类型夹杂物，通过夹杂物的形貌、成分、组织和分布等特征，可推测其加工工艺，在铁器文物研究方面，中国科技工作者取得了哪些进展？

答：对中国古代材料中独特的灌钢产品，研究了其灌钢工艺中的夹杂物形成机理，利用激光高温共聚焦扫描显微技术原位分析灌钢工艺的夹杂物行为，发现了样品的生铁层和熟铁层呈现出来的不同形貌变化现象。

基于文物材料表征和模拟实验的结果，现在已经初步建立起古代

钢铁冶金过程中夹杂物产生与生长的模型。比如分析出高磷、高钙相夹杂可作为区别炒钢产物的重要标志之一。通过综合这个领域的研究成果，中国的科技工作者提出了中国古铜冶炼、韧性铸铁、铸铁脱碳退火、熟铁等钢铁制品夹杂物形貌、成分、主要类别、尺寸、分布、数量等特征，研究成果“一种古代铸铁与块炼铁制品的判别方法”还获得了国家发明专利。

初步建立金属文物多元信息提取的方法体系，金属文物标本库和数据库正在建设中

问：前面提到，作为金属文物价值认知的基础性框架，信息采集的规范化、标准化和数据库建设是非常重要的工作。目前这方面的工作进展如何？

答：为了能够为后期的深入研究提供可靠、可比较的数据支撑，目前，中国的科技工作者已经初步建立了金属文物多元信息提取的方法体系，包括表面形貌的信息采集、宏观结构分析、信息采集分析、样品的取样原则、样品的材质分析方法、微观结构分析、器物制作工艺的重建原则以及金属材料产地溯源等。在开展金属文物标本库和数据库的建设的同时，中国科技工作者制定了相应的规范标准。

目前，金属文物科技标本库和数据库已经开始建设，已经归纳形成了标本库与数据库建设及共享的系列标准规范。为统一管理、数据保存和利用、信息共享提供了重要的技术依据，同时也为金属文物的技术研究及价值认知提供了支撑，形成金属文物多元信息共享的服务平台，成为国家文物科技资源平台的重要组成部分。

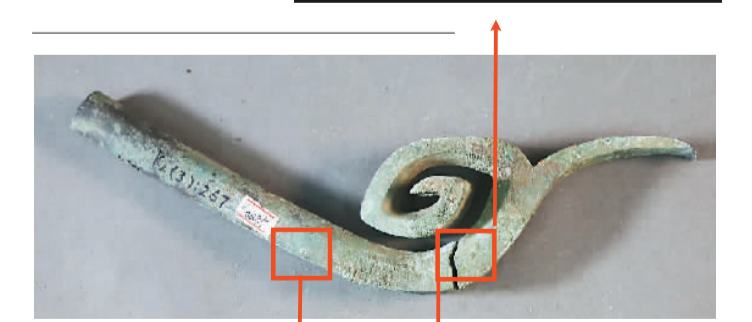
将来，通过标本库信息管理系统，可以实现标本在北京、上海、西安的异地存储和统一管理并与数据库形成关联。

问：从全球范围在这一领域的研究进展来看，您如何判断中国科技工作者工作和成果的价值？

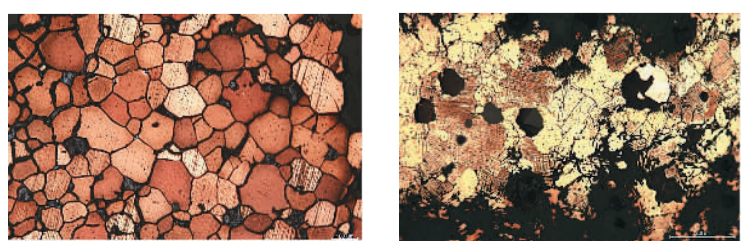
答：我们的工作还在进行中。最近的这些成果应该说是具有积极意义的，前面举例的几项新进展都是弥补了世界上相关研究的空白。比如标准参考物质的研制方面，我们新研制的高锡青铜的样品可以很好地覆盖、弥补和满足目前多种金属文物分析所需。在铁器夹杂物的分析方面，国外同行更多地是将其作为产地来源分析的一种手段，而我们进行铁质文物加工工艺的判别，扩大了应用场景。

目前为止，世界上主要金属文物成分分析数据库，都是通过收集、整合已有数据，基于地理信息技术，构建欧亚大陆古代金属研究的数据库，这基本上未产生新的分析数据。同时，这些数据库中关于中国样品的信息比较少。基于中国金属文物的标本库和数据库的建立，对金属文物的材质成分、组织结构、制作工艺、材料性能和使用功能的关系进行综合研究，是第一次实现数据驱动的金属文物研究，这在方法论上也有着积极意义。

借助工业X射线计算机断层扫描（X-CT）技术，中国科技工作者对部分三星堆青铜器残件进行检测，进一步完善了三星堆青铜器群在表面观察和内部结构剖析等方面的认识，为三星堆文化的研究提供新的思路。



通过对三星堆神树组件结构进行扫描看到的金相。三星堆神树组件芯骨部分的金相则是另外一种模样。



潜伟：北京科技大学科技史与文化遗产研究院院长、教授，国家重点研发计划“可移动文物价值挖掘及关键技术（无机质类）”项目首席专家，研究方向为冶金技术史、工业遗产、科技与社会。