



实验考古使用的铜矿石

我们穿越吧，回到青铜时代！

文图 / 刘薇 刘思然 陈建立

20世纪50年代以来，国外冶金考古学者在矿石的开采和加工、金属冶炼和铸造、金属制品的加工和使用等领域进行了大量的实验考古研究，为解决古代冶金技术、复

原古代冶金活动及其组织形式、探讨冶金活动与环境的关系等问题提供了有效途径。但遗憾的是，目前国内开展的冶金实验考古研究工作较少，高校考古系开展的实验考古教学工作也

不多见。针对这一情况，北京大学考古文博学院于2016年暑期精心组织了青花瓷之青花的绘制、新石器时代房屋搭建和青铜冶铸三个实验考古暑期课堂，是实验考古教学的一次较为创新性的尝试。其中青铜冶铸实验考古课程有来自北京大学、牛津大学、普林斯顿大学、香港中文大学、北京科技大学、武汉大学、吉林大学、中国科技大学、山东大学、社科院考古所等国内外高校及科研院所的34名学员参加，取得了良好的教学效果。让我们穿越吧，通过实验考古回到青铜时代！

前期准备

本次的青铜冶铸实验考古，自2016年4月开始就陆续准备各种实验所需材料，直至7月31日将全部实验材料运至北京大学考古文博学院在房山一家工厂内的实验考古基地为止，8月1日正式开始实验考古教学。

8月1~2日，我们将参与课程的学员分为五组，分别进行矿石燃料准备、耐火材料制备、陶范制作、鼓风设备制备以及科学检测仪器调试等相关工作。矿石燃料组主要负责粉碎分拣矿石和木炭，尽量提高铜矿品位，并将木炭粉碎至炼炉能够使用的合适尺寸。耐火材料组利用一定比例的泥、砂及羼和材料制作坩埚、炉



冶金实验考古流程



冶金考古的研究范畴包括对采矿、冶炼、铸造、锻造和金属制品的使用、流通、废弃等各环节所涉及的遗迹遗物的多学科结合的调查、发掘与整理，利用现代分析技术对冶铸遗物进行检测，研究采矿、冶炼及金属器制作方面的技术特点，对组织结构、生产工艺进行判断和复原，了解其产品特征和数量，探索产品的社会功能，在更广泛的范围内讨论冶金技术的发展及交流情况，更深层次地研究冶金技术在人类文明发展中的作用，并将研究成果应用于文物保护与公众展示。



实验考古也是冶金考古学研究的重要方法，可以帮助研究者更直观地体验古代金属的生产过程，更好地理解冶金过程中各种遗迹遗物所对应的生产步骤，进而还原古代工匠的技术选择。同时，实际参与整个金属生产流程可以帮助田野考古工作者更好地辨认古代冶金相关遗迹与遗迹现象，在发掘过程中更加全面地揭示出古代冶金遗址蕴含的相关信息。



铜矿石和木炭的拣选



图①② 耐火材料组及制作的鼓风管、坩埚、陶范等 图③④ 用牛皮缝制皮囊 图⑤⑥ 修筑的地炉和利用地炉冶炼场景

子和鼓风管，其中坩埚为敞口浅腹内加热坩埚，加入稻草与木炭碎屑作为属和料。制范组利用泥、砂、石蜡、墨鱼骨等材料制作预备浇铸的范。鼓风设备组利用牛皮、羊皮等制作传统鼓风皮囊，利用木材制作木扇。本次实验一共制作两个炉子，一个为直径 30 厘米、深度约 10 厘米

的地炉，利用泥砂材料制作炉衬；另一个为竖炉，系就地取土并拌稻草和泥，将泥条盘筑堆垒成馒头状，底部直径约 50 厘米，向上逐渐收缩，炉口部位直径约 30 厘米，炉子高度 60 厘米。鼓风管用于连接炉子与鼓风设备，制作材料与坩埚类似。仪器监测组负责安置热电偶、红外



修筑的竖炉和利用竖炉冶炼场景

测温仪，并在青铜冶铸过程中负责记录加炭和加矿石的时间。学员们根据自己兴趣加入不同的实验小组，并在熟悉本组作业的情况下，轮流加入其他小组，从而熟悉整个青铜冶炼准备流程。

实验过程

通过材料准备过程，参与课程的学员首先体会了古代冶金活动的复杂性，意识到许多考古资料中很难体现的技术问题，而是否能够成功解决这些问题却直接影响着冶金生产的成败。准备工作完成后，青铜冶铸便正式开始。自8月2日下午开始的两天半内分别进行了一次地炉冶炼、两次青铜浇铸以及两次竖炉冶炼。其中，

第二次青铜器冶铸过程通过“挖啥呢”微信公众号在网易直播平台上进行了直播报道。

使用地炉时，在地炉两侧留出两个鼓风口，利用皮质三通连接两对皮囊，并将皮囊与鼓风管连接。同时，在地炉两侧安置热电偶和红外测温仪，对地炉温度进行监测。在地炉中首先进行了一次小规模冶炼实验。鼓风设备与测温仪器安置好后，引燃木炭，并将坩埚埋入木炭。两对皮囊同时开始鼓风，并按一定时间间隔向地炉中加炭，记录加炭数量和频次。待温度升高后，向坩埚内添加铜矿石，继续鼓风一段时间后停止鼓风，待冷却后从坩埚内的反应物中成功提取了许多小铜珠。结果证明即使用很简单的地炉，只要鼓风量足够，也可将炉料加热至很高的温度并成功将铜矿石还原成金属铜。



利用地炉进行冶炼和铸造实验

此后，任课老师与学员们又一道使用同一地炉进行了青铜浇铸实验。通过相同的鼓风设备，将地炉加热同时预热陶范。炉温达到熔铜所需温度时投入铜料，待其完全熔融后将铜液倒入已备好的陶范或墨鱼骨型腔中进行浇铸，待铜液冷却后打开范，便得到成型的青铜器物。

在熟悉地炉操作后，学员们又继续实践了竖炉冶炼。为增大鼓风量，竖炉预留了三个鼓风口，分别连接了木扇和电鼓风机。炉子周边插入测温设备，随时监测炉内温度。在炉子充

分预热后，向内添加铜矿石，按照一层木炭一层矿石的顺序添加。加炭时间、频次及数量需由专人掌控和记录。两次竖炉冶炼实验均顺利生产出了金属铜。

实验后续

本次课程的最后一天，任课老师与学员一同对竖炉与地炉进行了解剖，详细记录了炼炉内不同部位炉料的分布情况、炉壁的烧灼程度以及炉壁周围土壤颜色变化与烧结情况，对多种冶金遗物以及整个实验场地的表层土壤进行了取样，并一起讨论如何在考古发掘中辨认相关遗物与遗迹现象。最后，师生们一道对冶金废弃物及炼炉进行了掩埋，制造了多个灰坑。这样下一期参加实验的学员可以从田野发掘开始体验更加完整的冶金考古研究流程。

这次青铜冶铸实验成功地完成了预设的任务和目标。炉子、坩埚、鼓风管等耐火材料在冶铸过程中表现出了较好的耐火性；皮囊、木扇、风箱等鼓风设备的制作也卓有成效，保证了足够的鼓风量，从而保证了炉温；测温设备能够正确安置、有效读取和记录；冶炼浇铸过程中，对炭和矿石的添加在数量和时间上的正确掌握，对鼓风量和炉内温度、气氛的良好控制，都是这次实验能够成功的重要因素。同时，也有一些不足和遗憾，如在第二次地炉熔铜时，由于炭量不足、坩埚放置位置偏高、鼓风量不足等原因，导致坩埚内铜矿未能完全熔融，无法进



竖炉冶炼出的铜块

行浇铸。

这次实验考古教学让学员们跳脱出书本上的刻板描述，切身体验了青铜器冶炼与浇铸的整个过程，了解到了古代匠人的技术选择、工艺创新及付出的辛劳，深刻认识到了每一个阶段和环节都会影响到最终的结果，在材料和技术上的任何

缺环或不足都可能导致整个实验的失败。它也让学员们对青铜器注入了更多的感情和敬畏，当打开竖炉，“众里寻他千百度”，发现铜颗粒的那一刹那；当火红的铜液流出，浇入陶范，继而看到成型器物的那一瞬间，学员们看到的是这一个铜颗粒背后凝聚着的古人的智慧、技艺、汗水、生产体系、社会分工、管理制度乃至当时整个社会的发展水平。

诚然，这次实验也存在一些改进的空间。第一，需深化冶金考古理论课。由于学员背景和知识体系不同，对青铜器冶铸的理论理解参差不齐，理论课的不足导致有些学员对冶铸过程中的某些环节不理解或理解不够深；第二，需加强各小组之间的交流互通。每个小组在完成本组工作的前提下，同时参与其他小组工作，有利于学员对整个冶铸工程的了解；第三，需强化实验总结概括的及时性，应在每天实验结束时进行讨论，及时总结经验和不足。

学员学习心得节选

北京大学卢一：

较为系统地学习了青铜冶炼、铸造的基本知识与基本流程，这对于学习商周考古的学生，



冶炼结束后解剖的炉子及废弃平整后的场地

是非常必要的基础知识。我发现，在这类动手操作很强的课程中，若单纯希望在室内的理论课中获得自己需要的内容，是远远不够的，只有在不断地动手操作、遇到问题、解决问题的过程中，针对问题向老师和学员提问，并进行讨论，才能获得更多的知识，并帮助我们思考整个青铜冶铸业的问题。简言之，多劳、多想、多问，才能学有所得。

了解了炉渣、炉壁等与冶炼、铸造有关的遗物，在今后的田野调查和发掘中，能够更加准确地辨认出这些与冶铸有关的指示物。对青铜器背后所代表的生产机构、生产成本（劳力物力支出）、生产组织、重要资源的占有、流通与分配等问题有了更加具体的认识。

青铜的冶铸，是一项技术门槛很高的手工业生产门类，并不是各地都可单独起源的。那么，商周时期，特别是西周时期，各地的铜器，如果有本地铸造的可能，其本地铸造的局限也应该很大。我想，日后在面对各地的铜器时，先思考其铸造背后所需要的技术积累和技术成本，再去思考其本地铸造的可能，才更合理。

这次的实际操作，让我迅速了解到，在冶铜、铸铜的步骤中，不同工序的技术难度是不同的，其所需要的经验也是不同的，这自然会带来在



2016 北京大学青铜冶铸实验考古人员大合影

我们关注铜器，关注冶铸，其背后不是简单的化学反应的过程，而是几代工匠经验的积累所得，是每一个普通的工匠，付出的最简单甚至最机械的劳动，而最终实现的。

大规模生产时，每个工序的生产者，其在大生产组织中的地位的不同。而在庞大的生产规模中，劳动者的分工以及其社会地位，很可能与其所从事的工种的技术难度与所需经验多少直接相关。

我们关注铜器，关注冶铸，其背后不是简单的化学反应的过程，而是几代工匠经验的积累所得，是每一个普通的工匠，付出的最简单甚至最机械的劳动，而最终实现的。如今，开始逐渐提倡“工匠精神”，但这种工匠精神，远不是多数人想象的那么浪漫与闲适，古代手工工业的工匠，更多的，可能是学徒时候的战战兢兢，每日简单的劳动，担心产品出错的不安，日复一日重复的流汗甚至流血，我们看到器物之美的时候，更应该看到，在每件器物背后，每一个平凡的人，最简单，最机械，甚至最心酸的付出。工匠精神，民艺之美，绝非我们凭空想象的那么“美好”。

南开大学程文博：

纵观整个青铜冶铸的实验过程，分工准备和正式冶炼共5天。尤其是其中碎矿、选矿，搬运、粉碎木炭，制作鼓风陶管、盘筑和维修炼铜竖炉以及熔炼铜矿石过程中，都需要相当大的劳动量的投入。而鼓风皮囊的缝制，木制手推鼓风箱的制作，包括高质量陶范的制作都是需要“学有专长”的“技术工人”才能够胜任的工种。尤为重要的是，各个工种、各道工序能够有条不紊地开展和配合，需要有经验的领队带着明确的实验目的，执行着明确的实验规程。以后去博物馆观看青铜器，我会更多思考它从采冶铜矿到铸器成形，从被埋藏到被发现，最终陈列在我们面前的一系列环节。^[A]

（作者刘薇为中国国家博物馆馆员、北京大学考古文博学院博士研究生；刘思然为北京科技大学科技史与文化遗产研究院博士后；陈建立为北京大学考古文博学院教授、博士生导师）