



# 江西上饶包家金银冶炼遗址的冶金考古调查与研究

- ◆ 刘思然 (北京科技大学科技史与文化遗产研究院)
- ◆ 陈建立 (北京大学中国考古学研究中心)
- ◆ 徐长青 (江西省文物考古研究所)
- ◆ Thilo Rehren (伦敦大学学院卡塔尔分校)

**摘要:**包家遗址位于上饶县中部,北距信江约5km。自2009年以来,考古人员对此遗址进行多次调查,初步廓清了该遗址的采矿、冶炼区域,对遗址的年代、生产规模以及生产技术有了初步认识。多种证据综合显示该遗址的主要使用年代为唐宋,且有可能延续至更晚时期。包家遗址主要开采岩金矿,由于含金矿物颗粒细小,需要通过火法冶炼提取黄金。除此以外,包家遗址矿石和炉渣的银含量较高,因此古人可能同时生产金、银两种金属。包家矿石中铅含量较低,影响了银的提取效率。推测该遗址工匠因受到其专业化程度及生产组织模式的影响,未从其他区域大量进口铅以提高提银效率。包家遗址的发现为研究我国古代脉金开采以及火法冶炼金银技术提供了新的材料。同时,此次工作显示了结合古代文献、考古调查以及科学分析对古代冶金遗址进行综合研究的重要意义。

**关键词:**冶炼遗址 唐宋 金银生产 脉金矿 火法炼金 炼银

**Abstract:** The site of Baojia is located in the central part of the Shangrao county, 5km to the south of Xinjiang River. Since 2009, archaeologists have conducted several field investigations at this site, and identified a mining and a smelting districts. The site is preliminarily dated to the Tang-Song period and was possibly used in the later period as well. The ore used at this site was vein gold with most gold bearing particles trapped in the silicate matrix, which had to be smelted with a pyro-technology. Additionally, the silver content of the Baojia ore and slag is significant, indicating that both gold and silver were extracted at this site. The relatively low lead content in the Baojia ore negatively affected the silver extraction efficiency. It is argued that the small production scale and low degree of specialisation caused Baojia smelters to be reluctant to import extraneous lead to promote their yield of silver. The study of this site enhanced our understanding about the vein gold mining and pyro-technology of gold and silver smelting in imperial China. Meanwhile, it also demonstrates the strength of combining textual research, archaeological investigation and scientific analysis in the study of ancient metal production sites.

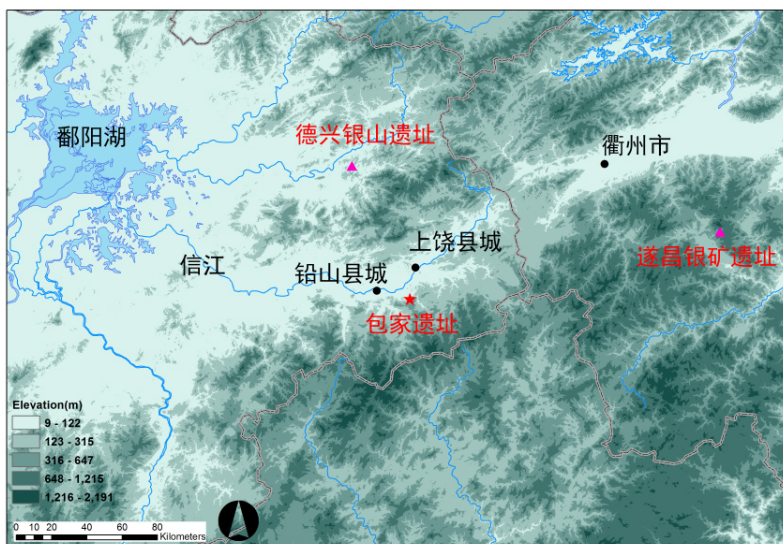
**Key words:** Smelting site, the Tang-Song period, Gold and silver production, Vein gold, Pyro-technology of gold smelting, Silver smelting

江西省东北部的上饶县地处信江中游的河谷地带,南北两侧为武夷山和怀玉山,东西向由信江水域横贯,交通便利。信江向西汇入鄱阳湖水系,向东溯流而上可至玉山县。从该区域继续向东则至浙江衢州地域(图一)。该地区自古以来便是金、银的重要产地,《史记·货殖列传》中便有“豫章出黄金”的记载。唐代时,上饶县地域先后归属鄱阳郡和饶州,乾元二年(758年)上饶制县,归入信州。唐宋时期的诸多文献都对这一地区的金银生产活动有过记载,《新唐书·地理志》载“饶州鄱阳郡土贡:歙金、银…”,“上饶有金、有铜、有铁、有铅”,《宋史·食货志》载“金产商、饶、歙、抚四

州”,“治平中饶州有金冶。饶州、信州、虔州、南安军、建昌军有银冶”。根据《宋会要辑稿》所载宋神宗熙宁年间金属产品岁课,信州银课额超10万两,成为当时全国最大的产银州。此一时期信州境内有上饶丁溪、贵溪以及铅山等多个银场以及贵溪县一买金场。另外据明《嘉靖广信府志》载上饶县内还有“桐木银坑,起于建炎间,至绍兴八年不采”。上饶县以北隶属饶州境内的德兴银山邓公场,曾为唐宋时期生产规模最大的银场之一,《太平寰宇记》云“总章二年邑人邓远上列取银之利;上元二年因置场监,令百姓任便采取,官司什二税之,其场即以邓公为名”,《元和郡县图志》

记有“饶州府乐平县银山在县东一百四十里,每岁出银十余万两,收税山银七千两”。从文献记载来看,该地区自汉代以来金银冶炼活动频繁,在唐宋时期无论从金银产量还是矿场数量来看都达到了高峰,成为当时重要的金银产区。

考虑到金银在唐宋时期重要的社会职能,以及统治者对金银生产的高度重视,对这一时期金银生产体系进行研究可为理解唐宋两代的社会提供重要信息。许多学者从文献的角度对这一时期古代矿场的分布规律<sup>①</sup>、生产管理模  
式<sup>②</sup>以及生产技术<sup>③</sup>进行了研究,获得了大量相关信息。与此相对,对于古代金银冶炼遗址的考古学研究仍处于起步阶段,从已发表的资料看赣东北地区目前只有德兴银山古矿冶遗址有过初步调查<sup>④</sup>,另外浙西南遂昌古银矿遗址群也已发表调查资料<sup>⑤</sup>。而通过分析冶炼遗址复原古代金银冶炼技术在这一区域乃至全国范围内尚很少开展<sup>⑥</sup>。这种研究方法上的不平衡性可能导致某些重要的信息被忽略,进而影响对古代生产技术体系的重建与研究。本文拟通过对江西省上饶县包家遗址的研究实例说明通过文献研究、考古调查以及科技分析手段对古代金银冶炼遗址进行综合考察的重要意义。



图一 包家遗址地理位置图。遗址位于信江中游河谷地带,与信江上游的上饶和下游铅山县城相距各约 20 公里。信江向西汇入鄱阳湖,而溯流而上经玉山可到达浙江省衢州市。这一区域另两处已发表调查资料的唐宋时期古代银矿遗址为上饶以北德兴市银山遗址,以及浙江省遂昌银矿遗址群。

### 一、遗址自然历史背景

包家遗址位于今江西省上饶县西部的茶亭镇,居于信江中游(图一)。遗址距上饶县城约 23 公里,距铅山县城约 20 公里,北距信江主航道约 5 公里。遗址范围大致在 28°15'

| 矿体  | 样品数 | Au ppm | Ag ppm | Cu    | Pb    | Zn    | Fe   | S    | Pb/Ag |
|-----|-----|--------|--------|-------|-------|-------|------|------|-------|
| V8  | 5   | 0.4    | 155.7  | 0.021 | 0.195 | 0.109 | 3.45 | 1.14 | 12.5  |
| V11 | 6   | 7.24   | 100.75 | 0.016 | 0.267 | 0.069 | 4.04 | 0.1  | 26.5  |

00"N-28°16'00"N, 117°52'30"E- 117°54'00"E 之间,主采矿区位于包公尖金矿区,属武夷山余脉。山脉呈北东向延伸,主峰包公尖海拔 678 米,侵蚀基准面最低标高 180 米,地势东南高西北低。20 世纪 80 年代江西省有色地质勘察局下属地质队曾对包公尖金矿区进行地质调查,并发现多处老窿。

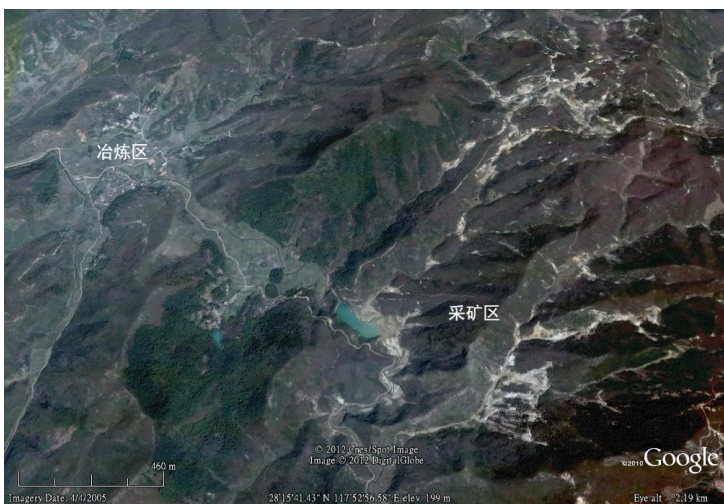
2005 年江西有色地质矿产勘查开发院在该矿区进行地质普查<sup>⑦</sup>,探明区内有 V1、V8、V11 三条主要矿体,其中 V1 矿体已基本采空,另两个矿体的浅部也基本采空。该区域位于华南加里东褶皱系北缘,处在华南褶皱系与钱塘台拗接壤地带。矿区原生硫化矿石主要为中温热液作用形成,主要矿物有黄铁矿(FeS<sub>2</sub>)、黄铜矿(CuFeS<sub>2</sub>)、毒砂矿(FeAsS)、闪锌矿(ZnS)和方铅矿(PbS),后经外生作用氧化形成多种铁氧化矿物。主要载金矿物为银金矿(electrum),其分布与黄铁矿及褐铁矿联系紧密。需要注意的是,包公尖矿区银金矿的颗粒很小,其直径主要分布在 5μm 到 50μm 之间,很少超过 0.5mm。对该区两个矿体(V8 和 V11)多个矿石样本的分析结果表明,矿物中的平均银含量达 100-150ppm,而金含量只在 0.7 到 7ppm 之间(表一)。

由于含银矿物非 2005 年地质调查重点,故未查明其主要赋存状态。通过地质档案中所给数据计算可得这两处矿体样品的 Pb/Ag 质量比约为 12.5 和 26.5。

古代冶炼遗址主要见于茶亭镇包家村内,中心坐标 28°15'56" N,117°52'22" E。此区域地势平坦,海拔约 120 米,与包公尖矿区经由狭长山谷相连,两区域相距约 1 公里(图二)。山谷内有一小河流过,经包公村向北汇入泸溪水进而流入信江。小河上游建有一小型水库,目前小河水流量较小,宽度约 2-3 米。包公村居民现主要从事农业生产,少量村民业余从事采矿活动,并通过氰化物浸出法提取黄金<sup>⑧</sup>。

有关包家遗址金属生产的历史文献目前只查得《嘉靖广信府志》载“包家场金坑在上饶县乾源乡,去县治南五十里,起于宋宣和间,至建炎三年不产罢采”<sup>⑨</sup>。由此可

见,包家遗址至少曾于两宋之际有过短暂的开采活动,且主要金属产品为黄金。至于其冶金活动是否只限于这一时期以及冶炼产品是否只有黄金,依现有资料无法断定。历史文献也未对本遗址所开采的金矿类型、黄金的提取方法和遗址冶金生产的管理模式进行说明。



图二 上饶县包家遗址卫星地图。包公尖金矿区位于此图东南部,冶炼区位于西北侧小开阔地处,包公村村民多居此地。两区域由一长约1公里的狭长山谷相连。

## 二、考古调查

自2009年起,江西省文物考古研究所、江西省博物馆和上饶县广播电视文化局组织相关人员对遗址进行多次调查,历时数年,初步廓清了古代采矿及冶炼遗迹的大致分布范围,确定了古代采矿区及冶炼区的位置,并对遗址的使用年代有了初步认识。遗址采矿区内发现大量矿洞和探矿槽,部分矿洞可深达数十米。矿洞基本沿矿脉走向发展,较少挖掘基岩,巷道宽窄不一,木支护结构只在少数情况下用于支撑岩壁重量。采矿遗迹的发现说明古人曾在此遗址开采脉金矿,而非简单淘洗河流中的沙金。采矿区内还发现了大量堆积的尾矿以及几处疑似古代用于粉碎矿石以及选矿的石窝遗迹(图三),相似遗迹在世界范围内多处古代冶金遗址曾有发现<sup>⑨</sup>。

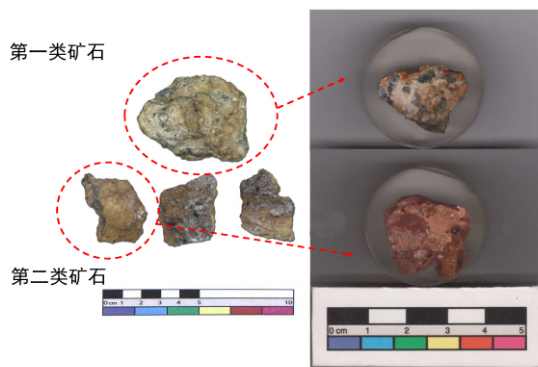


图三 包家遗址采矿区内粉碎矿石及选矿遗迹。圆形石窝为古人常年在岩石上粉碎矿石形成。

矿区内发现多处古代摩崖题刻,为确定遗址使用年代提供了重要参考。遗址冶炼区地表可采集到炉渣、冶炼炉壁残块以及唐、宋、元、明四代瓷片,另发现4个疑似为淘洗池的遗迹,内表面用石灰砂浆涂抹。包家遗址内还发现的多处

古道以及居址,可能与古代矿石运输以及矿工居住有关,另有多处地名如前炉、后炉、金家陇、监务坪等可能与古代遗址内不同的功能区划有关。2010—2013年,北京大学考古文博学院配合江西省文物考古研究所、上饶县广播电视文化局对该遗址的部分重点遗迹再次进行调查,记录冶炼遗物的分布规律、种类,并通过碳14测年方法对冶炼活动的年代进行研究。在此期间还对调查中取得的矿石、冶炼炉渣等样品进行科学分析,尝试复原古代冶金技术及冶炼产品。

本次调查过程中调查组采集到两类矿石样品(图四)。第一类样品为调查人员从废弃矿洞岩壁上掘取,样品内含大量硫化矿物,主要为黄铁矿、毒砂以及方铅矿,样品中脉石主要为石英。第二类矿石为调查组从当地从事采金活动的村民处获得,其中不见硫化矿物,外表呈铁红色,剖面上亦只见赤铁矿、褐铁矿等铁氧化物,以及大量石英脉石。结合遗址地质背景可以判断,第一类矿石为热液过程所产生的原生硫化矿石,而第二类矿石为硫化矿物在外生作用下氧化形成的铁帽型氧化矿石。



图四 包家遗址采矿区调查中获得的两类矿石。第一类矿石表面可见包括黄铁矿、毒砂、方铅矿在内的大量硫化矿物。第二类矿石含有大量赤铁矿、褐铁矿等铁氧化物。

在包家村内约8000平米的区域内可采集到古代冶炼遗物(图五)。冶炼区内目前主要为耕地,区域西侧建有多栋民居。采访当地村民得知,遗址所在区域被称为前炉和后炉,名称可能与此区域发现的冶炼遗物有关。村民在此区域内打地基时曾打穿厚度超过70厘米的炉渣层。遗址范围内采集到的冶炼遗物主要可分为冶炼炉渣及炉壁残块两种(图六,图七),炼炉炉基尚未发现,因此无法确定炼炉的准确位置。自2009年调查开始后调查组人员与当地村民协商,保留在平时翻土与施工时从地下翻出的疑似冶炼遗物,调查组定期前往回收。通过此法调查组获得了来自图五中标示的5个位置的冶炼遗物,从其空间分布规律看,地下冶炼遗物主要集中于靠近现代民居位置,而冶炼区西侧农田地下基本不见冶炼遗物。据此推测,农田地表采集得到遗物

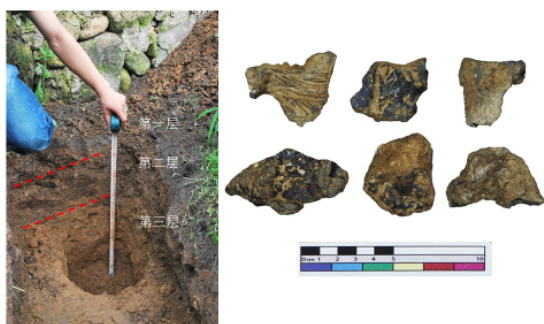
可能是在晚期农业活中被扰动至此，而冶炼遗物堆积的实际分布面积要小于现在划定的冶炼区范围，但此推断仍待考古发掘予以进一步验证。



图5 包家金矿遗址冶炼区地图。以炉渣为主的冶炼遗物主要分布在红色虚线所示区域内。本研究从图中标出的5个位置采集得到冶炼遗物，其中位置⑤为2013年村民打桩处，调查人员对其剖面进行了清理。



图六 包家遗址采集获得部分炉壁残块样品照片。



图七 左图：位置⑤剖面照片。第一层为约10cm表土，第二层为冶炼遗物层，厚度约25cm，第三层为黄色砂质层。木炭样品全部为冶炼遗物层中获得。右图：包家遗址采集所得炉渣。

2013年5月调查时当地村民正在位置⑤处打桩，调查组人员对其所掘坑剖面进行了清理观察。剖面可基本分为三层，其中表面10厘米左右为耕土层，其下是厚度约25厘米的冶炼遗物堆积层，冶炼遗物堆积层下为一黄色砂质土壤层。由于此坑位置靠近小河，黄色砂质层可能为古代河漫滩，但由于揭露面积过小，这一推断需经进一步发掘验证。坑内所出遗物主要为黑色炉渣块以及少量炉壁残块，另见大量红烧土块，未见瓷片。清理剖面时未能在冶炼遗物堆积层中划分出地层，从坑壁剖面以及掘出的炉渣层土壤中共获得8个木炭样品用于碳十四测年，帮助确定遗址冶炼活动的年代。总体来看，遗址冶炼遗物堆积层较薄，遗物总量较少，可能在数吨至十数吨之间，与相近时期江西省境内的其他几个大型银铅冶炼遗址动辄数十万吨的炉渣堆积量有较大差距<sup>②</sup>，可能属于一中小规模生产遗址。

包家遗址所出冶炼炉渣均为黑色，部分表面有铁锈痕迹。炉渣表面呈明显流纹状，背面包裹砂石颗粒，与竖炉排出渣特征相符，说明该遗址使用炼炉进行冶炼，冶炼过程中炉渣呈液态排出炉外。所获炉渣样品最长径均在数厘米至数十厘米之间，罕见大块炉渣。通过磁铁测试炉渣样品发现所有样品仅有微弱磁性。从炉渣断面观察，渣块致密少孔，玻璃化程度较高。对约5公斤炉渣破碎后检查，未见未反应完全的炉料或被炉渣包裹的冶炼产物及木炭残屑，说明炉内反应条件良好，炉渣黏度较低，与反应物和产物分离良好。包家遗址所出炉壁内表面皆严重玻璃化，而外表面则较为疏松，显示炼炉内外较大的温度差异。外层炉壁中可观察到大量岩石碎屑，可能是在制备筑炉所用粘土时加入的掺合料。

### 三、遗址年代

目前有关包家遗址冶金生产最为确凿的纪年为《嘉靖广信府志》中提到的宋宣和年间(1119-1125年)至建炎三年(1129年)，至于该遗址的冶炼活动是否只限于此一阶段则需要通过其他证据进行讨论。遗址表面采集瓷片跨越唐、宋、元、明四代，说明该遗址在这一时间段内被持续使用，但由于所有瓷片均为表面采集，无法直接用于确定冶炼活动的年代。

采矿区所见有确切纪年的摩崖题刻一共四处，分别为唐天宝年间(742-756年)、唐乾元二年(759年)、南宋绍兴十年(1140年)以及明嘉靖年间(1507-1567年)。这些题刻说明自唐宋以来该区域一直有人类活动，但四处题刻中有三处所记内容与遗址的冶金活动并无直接关系，只有绍兴十年的题刻中提到“绍兴十年，六月十六，三人到此场”，其中“场”字与宋代矿业管理机构监、冶、务、场、坑、炉中的“场”相合，也许可证明南宋时期该遗址曾有金属生产活动。但值得注意的是依前述文献记载，包家场的黄金生产停止

于建炎三年即 1129 年,当绍兴十年(1140 年)三人到此时包家场是否仍在进行金属生产存在疑问。一种可能性是在文献所记罢采年代以后该区域仍有小规模私采活动但未被记录,而另一种可能是三人到此时采冶活动已经停止,但此地地名仍沿用十余年前金场尚在时的叫法。

布来看,在近 6 个世纪时间内无明显断层,只是落在 9 世纪内的样品较少(图八)。由于木炭样品数量较少且地层关系不清,尚无法判断遗址使用是否在 9 世纪有过间断。另外,冶炼活动中用于制备木炭的木材可能是已生长多年乃至死亡的老树,故而木炭的碳十四年代可能要早于冶炼活动的

表二 包家遗址试掘坑所出木炭样品碳 14 年代测定结果。

| 样品编号   | 北大实验室编号  | 14C 年代 1σ<br>BP | 树轮校正年代<br>1σ 公元 | 树轮校正年代<br>2σ 公元 | 样品出处            |
|--------|----------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| BJG-C1 | BA130871 | 84525           | 1168-1220       | 1158-1256       | 位置⑤坑壁           |
| BJG-C2 | BA130872 | 135025          | 651-676         | 640-763         | 位置⑤坑壁           |
| BJG-C3 | BA130873 | 130525          | 666-764         | 660-768         | 位置⑤坑壁           |
| BJG-C4 | BA130874 | 88025           | 1059-1211       | 1045-1220       | 位置⑤炉渣层<br>掘出土壤中 |
| BJG-C5 | BA130875 | 103025          | 994-1020        | 973-1032        | 位置⑤炉渣层<br>掘出土壤中 |
| BJG-C6 | BA130876 | 108525          | 901-992         | 895-1015        | 位置⑤炉渣层<br>掘出土壤中 |
| BJG-C7 | BA130877 | 112530          | 891-970         | 777-991         | 位置⑤炉渣层<br>掘出土壤中 |
| BJG-C8 | BA130878 | 80020           | 1225-1256       | 1211-1270       | 位置⑤炉渣层<br>掘出土壤中 |

实际年代,即一般所称的“老树效应”(old wood effect)。最后值得注意的是,由于木炭样品并非从炉渣中取得,而是取自炉渣所在的地层,要证明木炭的碳十四年代与冶炼活动年代一致还应对炉渣堆积的形成过程进行分析,检验木炭与炉渣的共时性,进而准确判断冶炼活动的发生时间。

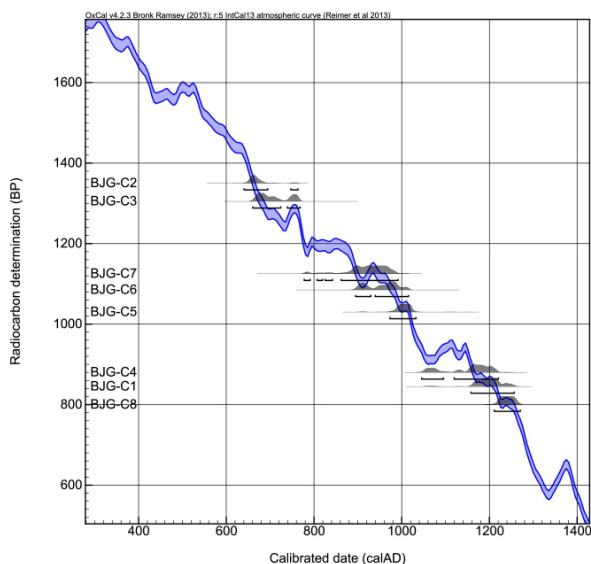
综合考古调查、文献资料以及碳十四测年结果,包家遗址的大致使用时间为唐宋,至于是否可能延续至更晚的元明时期需要通过考古发掘进一步研究。包家遗址的冶炼遗物堆积量较少而冶

炼活动的持续时间却似乎很长,这可能从另一个侧面说明遗址的生产规模较小,所以冶炼遗物的产生速率较慢。但要做出这一论断还需要对遗址堆积的形成过程有更深刻的了解。

#### 四、矿石样品分析

在调查所获矿石样品中选取 3 块分析其化学成分、矿物组成以及微观结构。三个样品用环氧树脂镶嵌后抛光表面,使用 Leica DM4500M 金相偏光显微镜对其矿物组成与微观结构进行观察。使用日本电子 JEOL Superprobe JXA8600 电子探针配备 Oxford Instruments INCA Energy Dispersive Spectrometer 能谱仪分析矿石中各物相的化学成分。仪器检出限约为 0.5 wt%,凡低于此检出限的数据均以 bdl (below detection limit)表示。

所取 3 个矿石样品中一个为上述第一类样品,以硫化矿物为主,另两个为第二类样品,主要含有褐铁矿等氧化矿物,三个样品的主要矿物组别列于表三,两类矿石中含金银矿物的化学成分列于表四。样品 BJG-ore1 主要含有毒砂(FeAs<sub>2</sub>)、黄铁矿(FeS<sub>2</sub>)、方铅矿(PbS)、闪锌矿(ZnS)四种硫化矿物。扫描电镜分析发现 BJG-ore1 方铅矿晶体中常含有含银黝铜矿((Cu,Ag)<sub>10</sub>(Fe,Zn)<sub>2</sub>Sb<sub>4</sub>S<sub>13</sub>)、脆银矿(Ag<sub>5</sub>Sb<sub>4</sub>S<sub>4</sub>)等多种含银锑的硫化矿物。第二类矿石样品中主要见褐铁矿、赤铁矿等铁氧化物以及石英矿脉,电镜观察时只在 BJG-ore3 中找到少量细小金属颗粒,成分分析显示其为银金矿(electrum)及辉银矿(Ag<sub>2</sub>S)。这些颗粒尺寸一般在几微米至几

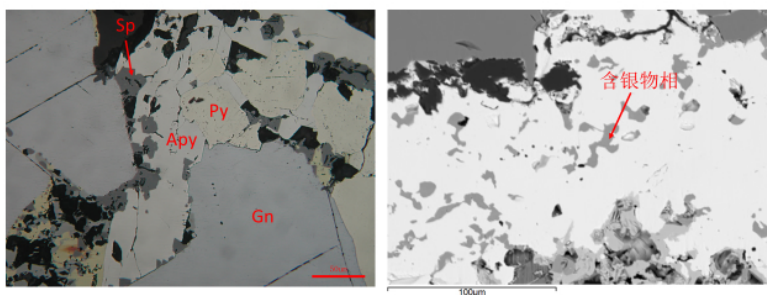


图八 包家遗址木炭样品碳 14 树轮曲线校正结果。所有木炭样品年代均落在公元 7 世纪至公元 13 世纪之间。

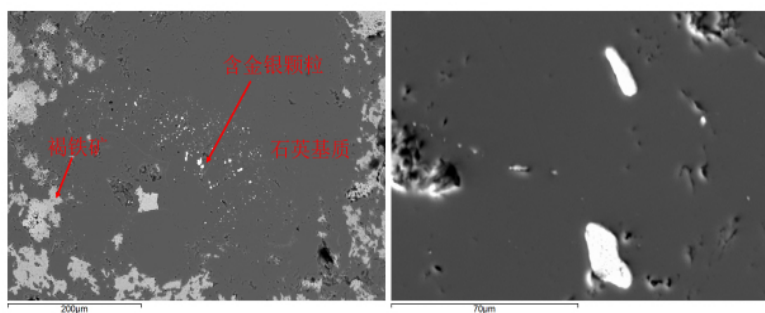
冶炼区位置⑤地层中取得的 8 个木炭样品的碳十四年代由北京大学考古文博学院通过加速器质谱法测定(AMS),年代数据以半衰期 5568 年计算,以 1950 年为起始点。通过 OxCal4.2.3 软件进行树轮校正得到日历年代<sup>②</sup>,结果列于表二。碳 14 结果显示 8 个木炭样品的树轮校正年代 2σ(95.4%)置信区间基本落在 7 世纪至 13 世纪之间,约相当于唐至宋末元初,与之前通过文献、矿区摩崖题刻以及冶炼区采集瓷片所示年代基本吻合,证明该遗址很可能从唐代即开始使用,而延续至宋元之际。从 8 个样品的年代分

十微米之间,嵌于致密的石英矿脉中。

| 编号       | 矿石分类 | 矿物组成              | 金银矿物       |
|----------|------|-------------------|------------|
| BJG-ore1 | 第一类  | 毒砂,黄铁矿,方铅矿,闪锌矿,石英 | 含银黝铜矿,脆银矿等 |
| BJG-ore2 | 第二类  | 褐铁矿,赤铁矿,石英        | 未发现        |
| BJG-ore3 | 第二类  | 褐铁矿,赤铁矿,石英        | 银金矿,辉银矿    |



图九 左:第一类矿石样品 BJG-ore1 单偏光照片。样品主要含有毒砂 (Apy),黄铁矿 (Py),方铅矿 (Gn),闪锌矿 (Sp)。右图:BJG-ore1 样品背散射电子照片。显示方铅矿中的含银黝铜矿颗粒。



图一 0 第二类矿石样品 BJG-ore3 背散射电子照片。含金银颗粒主要为银金矿和辉银矿,尺寸在几微米至几十微米之间。

表四 包家遗址采集矿石中含金银矿物的化学成分。含金矿物只发现于 BJG-ore3 样品中,全部为银金矿颗粒。所有结果均已归一化,以质量百分数表示。bdl 代表低于仪器检出限。

| Code     | Si  | S    | Fe  | Cu   | Zn  | As  | Ag   | Sb   | Au   |
|----------|-----|------|-----|------|-----|-----|------|------|------|
| BJG-ore1 | bdl | 23.3 | 2.3 | 25   | 4.7 | bdl | 17   | 27.7 | bdl  |
| BJG-ore1 | bdl | 23.6 | 2.5 | 24.9 | 3.9 | bdl | 16.5 | 28.6 | bdl  |
| BJG-ore1 | bdl | 16.9 | 4.8 | 12.3 | 1.4 | 3.1 | 46.7 | 15   | bdl  |
| BJG-ore1 | bdl | 15.6 | bdl | 3.8  | bdl | bdl | 67   | 9.4  | 4.4  |
| BJG-ore3 | bdl | 17.1 | bdl | 0.9  | bdl | 1.4 | 67.3 | 13.2 | bdl  |
| BJG-ore3 | 0.5 | 16.6 | bdl | 1.1  | bdl | 1.5 | 68.4 | 11.9 | bdl  |
| BJG-ore3 | 1.2 | 18   | bdl | 1.3  | bdl | bdl | 65.2 | 14.3 | bdl  |
| BJG-ore3 | bdl | bdl  | bdl | bdl  | bdl | bdl | 63.5 | bdl  | 36.5 |
| BJG-ore3 | bdl | 11.5 | bdl | bdl  | bdl | bdl | 56.3 | bdl  | 32.3 |
| BJG-ore3 | bdl | bdl  | bdl | bdl  | bdl | bdl | 59.8 | bdl  | 40.2 |
| BJG-ore3 | bdl | bdl  | bdl | bdl  | bdl | bdl | 62.4 | bdl  | 37.6 |
| BJG-ore3 | bdl | 13.3 | bdl | bdl  | bdl | bdl | 86.7 | bdl  | bdl  |

表四 包家遗址采集矿石中含金银矿物的化学成分。含金矿物只发现于 BJG-ore3 样品中,全部为银金矿颗粒。所有结果均已归一化,以质量百分数表示。bdl 代表低于仪器检出限。

综合地质报告和矿石样品分析结果,包公尖矿区矿石有以下几个主要特点。首先,地质报告中提到金在硫化矿石中被发现,且与黄铁矿联系紧密。但遗址矿石样品检测时只在第二类矿石中发现金以小颗粒的银金矿形式存在。这主要源于两种检测手段灵敏度的差异,扫描电镜能谱分析很难发现地质报告中提到的数个 ppm 量级的金。不过这也同时说明金经外生作用在铁帽型矿石中富集,致使含金颗粒较易被发现。现代村民以此类矿石为主要采掘对象,也说明了从这类矿石中较易提金。第二,矿石中的金、银均以极小颗粒状态赋存,且第二类矿石中银金矿颗粒被石英矿脉包裹。这样的金、银矿物很难通过物理方法分离,因为淘洗过程中细小的金矿物很易损失于尾矿中。现代采金村民使用氰化物浸出法提金以避免此问题。第三,矿石中金银伴生,且银的绝对含量远高于金。

## 五、炉渣样品分析

包家炉渣样品的详细分析结果以及技术重建已另文讨论,通过系统的炉渣分析与模拟实验,笔者认为包家遗址使用了技术上较为先进的铁还原法进行冶炼<sup>③</sup>。本文主要关注炉渣化学成分所反映的冶炼产物的相关信息。使用 XRF-WDS spectrometer Philips PW 2400 machine 波长色散 X 射线荧光对 11 件炉渣样品的主量元素及银、金含量进行分析。仪器的检出限为 10ppm,但 10-100ppm 数据只能用于定性讨论。11 件样品的分析结果见表五,从平均成分看,包家炉渣应为硅酸铁类炉渣,并含有少量的 CaO、MnO、K<sub>2</sub>O。炉渣的硫含量很高,11 个样品平均值为 2.48 wt%,显示在冶炼中使用了硫化矿石。炉渣样品的氧化铅含量平均值为 0.92 wt%,显示矿石中含铅,但含量不高且冶炼时与炉渣分离较好。包家炉渣的银含量约在 100-200ppm 之间,11 个样品的平均值为 175ppm,而所有样品的金含量均在仪器检出

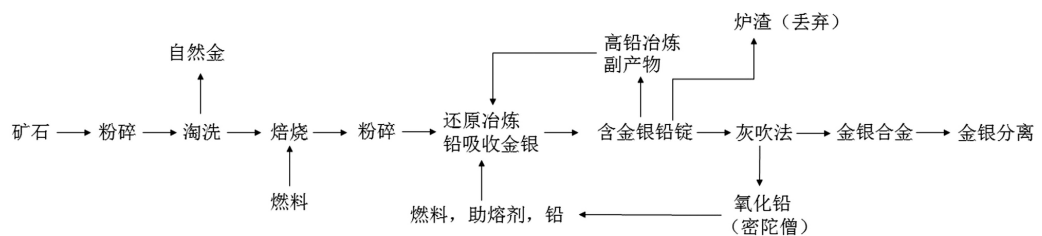
表五 包家遗址炉渣的波长色散 XRF 分析结果。Ag 以 ppm 表示,其余元素以质量百分数表示。所有样品的 Au 含量均低于仪器检出限。

| 编号      | MgO  | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | SiO <sub>2</sub> | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | SO <sub>3</sub> | K <sub>2</sub> O | CaO  | TiO <sub>2</sub> | MnO  | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | CuO  | ZnO  | PbO  | Ag (ppm) | Pb/Ag |
|---------|------|--------------------------------|------------------|-------------------------------|-----------------|------------------|------|------------------|------|--------------------------------|------|------|------|----------|-------|
| BJG-1-2 | 0.39 | 3.93                           | 36.75            | 0.26                          | 2.84            | 1.74             | 2.49 | 0.3              | 1.09 | 47.88                          | 0.22 | 0.91 | 1.2  | 128      | 86    |
| BJG-1-4 | 0.45 | 5.41                           | 34.59            | 0.35                          | 2.39            | 1.88             | 2.45 | 0.38             | 2.56 | 47.78                          | 0.24 | 0.34 | 1.17 | 141      | 77    |
| BJG-2-4 | 0.48 | 4.35                           | 43.26            | 0.27                          | 2.04            | 1.91             | 2.87 | 0.28             | 1.36 | 42.04                          | 0.2  | 0.27 | 0.68 | 190      | 33    |
| BJG-2-6 | 0.41 | 4.09                           | 39.16            | 0.28                          | 2.58            | 1.71             | 2.48 | 0.27             | 0.89 | 46.67                          | 0.33 | 0.23 | 0.89 | 156      | 52    |
| BJG-3-2 | 0.42 | 4.26                           | 40.25            | 0.3                           | 2.48            | 1.75             | 2.56 | 0.27             | 0.91 | 45.53                          | 0.27 | 0.22 | 0.76 | 118      | 59    |
| BJG-3-3 | 0.39 | 4.13                           | 38.26            | 0.31                          | 2.54            | 1.69             | 2.51 | 0.27             | 0.89 | 47.37                          | 0.34 | 0.26 | 1.02 | 167      | 57    |
| BJG-4-2 | 0.38 | 4.11                           | 38.45            | 0.37                          | 2.72            | 1.67             | 2.53 | 0.25             | 3.96 | 43.84                          | 0.15 | 0.62 | 0.95 | 264      | 33    |
| BJG-4-3 | 0.41 | 5.4                            | 34.53            | 0.38                          | 2.4             | 1.87             | 2.44 | 0.38             | 2.58 | 47.81                          | 0.25 | 0.34 | 1.21 | 138      | 81    |
| BJG-5-1 | 0.42 | 4.28                           | 42.71            | 0.33                          | 2.19            | 1.84             | 2.54 | 0.26             | 1.13 | 42.96                          | 0.26 | 0.29 | 0.78 | 250      | 29    |
| BJG-5-4 | 0.48 | 4.51                           | 41.21            | 0.46                          | 2.61            | 1.77             | 2.73 | 0.27             | 3.11 | 41.66                          | 0.09 | 0.53 | 0.57 | 194      | 27    |
| 平均值     | 0.42 | 4.45                           | 38.92            | 0.33                          | 2.48            | 1.78             | 2.56 | 0.29             | 1.85 | 45.36                          | 0.24 | 0.4  | 0.92 | 175      | 53    |

限 10ppm 以下。这些样品的 Pb/Ag 质量比在 27-86 之间,平均值为 53。

## 六、讨论

本次考古调查揭示了包家遗址古代冶金生产的相关信息,为这一区域的古代金银生产研究提供了新的资料。首先,综合文献、考古调查和碳十四测年可将包家遗址生产活动的年代大致确定为唐宋,但目前不能排除其延续至更晚时期的可能。采矿遗迹的发现证明古人曾于此地开采脉金矿,而非只是淘洗沙金。卢本珊、王元根通过文献研究认为至迟到隋代我国即有脉金开采活动<sup>24</sup>,王菱菱也指出在北宋时,中国古人已开始频繁地开采脉金矿,并通过粉碎淘洗的方法分离金和脉石<sup>25</sup>。夏湘蓉等指出很多文献中记载“山金”并不一定是现代意义上的脉金矿,而可能是坡积砂金矿<sup>26</sup>。包家遗址矿石的特殊之处在于,其载金矿物非常细小,很难通过粉碎淘洗的物理方法获得,在氰化物法及混汞法被使用前,古代工匠则很可能需要使用火法冶炼的方法对其进行提取<sup>27</sup>。德国冶金考古学家巴哈曼(Hans-Gert Bachman)<sup>28</sup>曾根据老普林尼(Pliny the Elder)《博物志》(Naturalis Historia)中的记载以及其在葡萄牙北部 Três Minas 遗址的实地调查研究的结果将罗马时期火法冶炼金银矿的方法总结成如图一所示的流程。Três Minas 遗址所在区域金、银主要赋存于毒



图一 含金银矿石火法冶炼流程图。此图根据巴哈曼(Hans-Gert Bachmann)1995 Fig.4 改绘。

砂等多种硫化物矿石中,矿石含有大量石英脉石,金、银也无法通过物理方法分离。研究发现当地大量的冶炼炉渣可

能是火法冶炼提取金银的产物。鉴于包家遗址所见矿石类型及考古遗迹与 Três Minas 遗址有很多相似之处,两地所用的提金方法或可类比。此法需在高温下融化含金颗粒周围的石英脉石,并利用铅与金的亲和性首先将金吸收进入铅中,获得含金的铅锭,之后再通过灰吹法分离金与铅。被熔化的脉石则形成冶炼炉渣被弃置于冶炼地点。火法冶炼提金在我国古代文献研究中较少被提及。Peter Golas 指出<sup>29</sup>《元和郡县志》中所记“开皇十八年,(山东)牟州刺史辛公义始开黄银坑,冶铸得黄银献之。”可能涉及到通过火法冶炼融化银金矿周围的石英矿脉,从而提取黄金。但由于此段的叙述过于简略,Golas 也认为此解读还有待商榷。包家遗址所见的火法提取黄金遗物为研究这一技术在中国古代的发展提供了新的证据,根据文献记载,采矿区摩崖石刻以及冶炼区所获木炭的碳 14 年代,火法炼金于唐宋时期在江西东北部的信州地区应已被使用。但限于现有资料,对于该技术的起源与传播尚难做出深入的讨论。另外在遗址内寻找灰吹法以及金银分离方法的实物证据也是下一步的调查和发掘工作中值得关注的重点。由于田野考查中未发现灰吹法遗物,目前无法确定金与铅的分离操作是否也在该遗址进行。

包家遗址的另一个重要发现是矿石及炉渣中银含量较高。在火法冶炼过程中,金与银被共同提取至冶炼所得的铅锭中。由于现今金银比价较高(约 50-60 倍),包家矿石中的

银开采价值较小,因此未在地质调查中得到重视。然而金价腾飞只发生于近代,在中国古代金银比价要远低于这一数值。根据经济史学研究,中国唐宋时期金银比价约在6到13倍之间<sup>③</sup>,而包公尖矿石中的银金质量比要高于这一数值。由此看来,对唐宋时期的古人而言,矿石中的银也有很大开采价值。由于金银会在冶炼过程中形成合金,要得到纯净的金、银则需按图一—中最后一步中所示进行金银分离。目前调查中尚未发现此步骤的相关遗物。从现已发表的唐宋时期金银器的检测分析数据看,不见有金中含有大量银或银中含有大量金的情况<sup>④</sup>,另外根据赵匡华等的研究<sup>⑤</sup>,东汉狐刚子《出金矿图录》中即对金银分离方法有过记载,之后此法又有过多种发展,由此可见唐宋时期古人可能已了解如何测试金银合金的纯度并掌握基本的金银分离方法。

虽然银可能是包家遗址的重要产品之一,但炉渣分析显示该遗址的提银效率较低。包家炉渣中银含量的平均值达175ppm,而现代工业标准中含银80ppm以上的矿石即达到工业品位,而对于含银150ppm以上的矿石即可以银为主要开采对象<sup>⑥</sup>。可见包家炉渣在现代工业中仍可以作为矿石直接使用。在唐宋时期,受冶炼技术所限,必定会有部分银在冶炼过程中流失,但目前所见国内外古代炼银炉渣的分析数据显示,其银含量一般小于100ppm<sup>⑦</sup>。炉渣中含有接近200ppm的银是较为罕见的。考察包家遗址的矿石和炉渣成分,发现该遗址矿石的Pb/Ag比较低。如前文所述,火法冶炼中铅作为载体在冶炼时吸收金银,为了提高收集效率一般要求铅含量远大于银。而如果矿石中Pb/Ag较低,则会有部分银无法被铅吸收,进而进入冶炼副产物中(硫化物、锑化物、炉渣等)。以古希腊著名的劳利昂银矿为例,其矿石的Pb/Ag比在500以上<sup>⑧</sup>,而同在江西东北部的德兴银山遗址的银铅锌矿石的Pb/Ag比也在100以上<sup>⑨</sup>。根据Kassianidou<sup>⑩</sup>对于劳利昂地区多个地点炉渣分析数据的总结,其炉渣的Pb/Ag比大多在1800以上。

包家两个矿体硫化物矿石样品的Pb/Ag比仅为12.5和26.5,显示包家第一类矿石中的方铅矿含量较低,而第二类铁帽型矿石中几乎不见方铅矿及其他含铅矿物,其Pb/Ag比可能更低。这种情况一般需要额外加入铅或铅矿石,以提升银的提取效率。目前对这种提银方法最早的记载见于我国北宋时期苏颂所著《图经本草·金属》,其中提到“其银在矿中则与铜相杂,土人采得之,必以铅再三煎炼方成”。霍有光也认为宋代我国银矿开发的一大成就便是通过加入外来铅的方法提取贫铅银矿中的银<sup>⑪</sup>。日本学者Nakanishi和Izawa总结了多个日本早期银矿的矿石和炉渣的分析数据以及文献证据,认为日本的石见(Iwami)、佐渡(Sado), Nobesawa, Taniguchi, In-nai等地贫铅银矿在公元16世纪以后被开发,也是依靠向矿石中加入外来铅的方法提银<sup>⑫</sup>。包家炉渣的Pb/Ag比在50左右,相较矿石样品略有升高,但仍未达到一般银铅矿的Pb/Ag比,更远低于一般银铅矿

冶炼炉渣的Pb/Ag。说明冶炼中外来铅加入量不足,影响了提银效率。根据现有数据推测,包家遗址可能并为从其他地区大量进口金属铅或铅矿石,而只是将遗址现有的两类矿石相互混合,利用第一类矿石中所含的铅提取第二类矿石中的金银。由于第一类矿石中的铅主要以硫化物形式存在,大量硫在冶炼过程中被引入炉渣中,导致了其较高的硫含量。这种方法显然会导致炉料中Pb/Ag过低,大量银损失在炉渣和其他冶炼副产物中。这个现象似乎显示包家遗址冶炼技术较为落后,工匠未能完全掌握通过加入外来铅提银的方法。但笔者认为这个问题仍需要从遗址的社会背景与生产组织的角度进行探讨。由于包家遗址的生产规模较小且鲜见于文献记载,可以推测包家遗址并非官营,其工匠可能主要为平时从事农业生产的平民。对于他们来讲,保持较低的生产成本,较小的经济风险以及较短的生产周期是十分重要的。另一方面,相对于大型遗址,包家工匠的岁课压力应该较小,目前文献中还未见任何有关包家固定岁课的记录,其产品很可能大部为冶炼工匠所得。从其他区域大量进口金属铅或铅矿石虽然有助于增加提银效率,但也会增加采购、运输和管理的成本,这种方法无疑更适用于专业化生产且需要贡献固定岁课额的大型矿山。而对于专业化程度较低而且岁课压力较小的包家遗址,选择使用内部自有的矿石以尽可能低的成本进行生产,也许是更为经济的方式。

## 七、结语

包家遗址的调查工作揭示了该遗址所蕴含的多个重要信息。首先初步确定了冶炼活动的年代为唐宋,并发现了古人开采脉金矿以及通过火法冶炼提金的实物证据,为研究这两项技术在我国古代的发展模式提供了新的材料。矿石和炉渣分析显示此遗址可能同时生产金、银两种金属。炉渣中较高的银含量说明银的提取效率较低,而其主要原因是矿石中铅含量不足。包家工匠可能主要利用了第一类矿石中的铅来提取第二类矿石中的金银,而未从其他区域大量进口金属铅或铅矿石以增加提银效率。这一技术选择的背后动因可能与包家遗址较小的生产规模以及较低的专业化程度有关。

对包家遗址的调查工作仍处于起步阶段,遗址冶炼活动的更精确的起止时间以及冶炼遗物的准确分布范围仍有待确定,并且此调查过程中未能揭露如炉基、灰吹法遗物、金银分离遗物等与生产活动相关的重要证据,希望能在下一步的调查和发掘中予以完善。

注释:

① 司马迁:《史记货殖列传》,上海古籍出版社,1986年。

② 张德金、邱敬登、郭佐民:《上饶县志》,中共中央党校出版



社,1993年。

欧阳修、宋祁:《新唐书卷四十一地理五》,中华书局,1987年。

脱脱:《宋史卷一八五食货志下七》,中华书局,1977年。

⑫王菱菱:《宋代矿业研究》,河北大学出版社,2005年。

徐松(辑):《宋会要辑稿食货三三》,中华书局,1957年。

⑬张士镐:《嘉靖广信府志卷六》,天一阁藏明代方志选刊续编。

乐史:《太平寰宇记卷一零七》,中华书局,1999年。

李吉甫:《元和郡县图志》,四库全书。

a 齐东方:《唐代金银器研究》,中国社会科学出版社,1999年。b 加藤繁:《唐宋金银之研究—以金银之货币机能为中心》,中华书局,2006年。

⑭a.薛亚玲:《中国古代金、银矿生产分布的变迁》,《浙江社会科学》2001年第3期。b.霍有光:《中国宋代金矿开采区》,《西北地质》1994年第3-4期。c.程裕谔:《江西采金简史》,《江西冶金》1994年第4期。d.王发宁:《江西金银古矿记录及其找矿意义》,《江西地质科技》1995年第4期。e.海妍:《银河觅踪—江西古代银场》,《南方文物》2010年第3期。

⑮a.卢本珊、王根元:《中国古代金矿的采选技术》,《自然科学史研究》1987年第3期。b.王菱菱:《宋代金银的开采冶炼技术》,《自然科学史研究》2004年第4期。c.霍有光:《中国古代矿冶成就及其他》,陕西师范大学出版社,1995年。d.谢鹏飞:《从文献看中国古代炼银技术》,北京科技大学硕士论文,2005年。e.夏湘蓉、李仲均、王根元:《中国古代矿业开发史》,地质出版社,1980年。f.韩汝玢、柯俊主编:《中国科学技术史—矿业卷》,科学出版社,2007年。

⑯孙以刚:《江西德兴古矿冶遗址研究》,《江西文物》1990年第3期。

⑰a 齐岩辛、邹霞:《浙江遂昌局下古代银矿遗址特征及综合保护》,《科技通报》2011年第3期。b 齐岩辛、邹霞、陈美君等:《遂昌古代银矿遗址采矿历史及矿业工艺探讨》,《科技通报》2012年第1期。

⑱a 程群、李延祥、李建西等:《山西省翼城县东南两处遗址的炉渣研究》,《中国国家博物馆馆刊》,2012年第2期。b Xie, P. and Rehren, Th. 2009. Scientific analysis of lead-silver smelting slag from two sites in China. In Rehren, Th. and Mei, J. (eds) Metallurgy and Civilisation: Eurasia and Beyond. London: Archetype, pp 177-183.

⑲江西有色地质矿产勘查开发院:《江西省上饶县包公尖矿区金矿普查地质报告》,江西有色地质勘查局档案,2005年。

⑳谢乾丰:《江西上饶县茶亭镇包家村民间金矿采冶工艺调查研究》,《云南农业大学学报》2011年第4期。

㉑a 李延祥、黄全胜、万辅彬:《广西北流铜石岭容县西山冶铜遗址初步考察》,《有色金属》2007年第4期。b Craddock, P.T., 1995. Early Metal Mining and Production. Edinburg: Edinburg University Press, p159. c Tylecote, R.E. 1987. The Early History of Metallurgy in Europe. London&New York: Longman, p58.

㉒a.胡春涛:《江西蒙古银矿小考》,《江西文物》1990年第3期。b.孙以刚:《江西德兴古矿冶遗址研究》,《江西文物》1990年第3期。

㉓Bronk-Ramsey, C. and Lee, S. 2013. Recent and planned

developments of the program OxCal. Radiocarbon, 55 (2-3), 720-730.

㉔ Liu, S., Rehren, Th., Chen, J., Xu, C., Venunan, P., Larreina-Garcia, D., Martínón-Torres, M. 2015. Bullion production in imperial China and its significance for sulphide ore smelting world-wide. Journal of Archaeological Science, 55, 151-165.

㉕卢本珊、王根元:《中国古代金矿的采选技术》,《自然科学史研究》1987年第3期。

㉖王菱菱:《宋代金银的开采冶炼技术》,《自然科学史研究》,2004年第4期。

㉗夏湘蓉、李仲均、王元根:《中国古代矿业开发史》,第304页,地质出版社,1980年。

㉘a Meyer, C., Earl, B., Omar, M., Smither, R.K. 2003. Ancient gold extraction at Bir Umm Fawakhir. Journal of American Research Center in Egypt, 40, 13-53. b Mongiatti, A., Rehren, Th., Martínón-Torres, M., Cech, B. 2009. Smelting of gold and silver ores in Renaissance Austria. In Giunilia-Mair, A. (ed.) Archaeometallurgy in Europe II 2007. Milano: Associazione Italiana di Metallurgia, pp 60-67.

㉙Bachman, H-G. 1995. Sophisticated Roman recovery techniques for gold. Institute for Archaeo-Metallurgical Studies Newsletter, 19, 7-9.

㉚Golas, P.J. 1999. Science and Civilisation in China Volume 5: Chemistry and Chemical Technology; Part XIII: Mining. Cambridge: Cambridge University Press, p120.

㉛a.彭信威:《中国货币史》,第198-199页,上海人民出版社,1958年。b.加藤繁:《唐宋金银之研究—以金银之货币机能为中心》,中华书局,2006年。

㉜a 谭盼盼、杨军昌、李晓岑:《唐代长安韦氏家族墓出土银器的分析与初步研究》,《乾陵文化研究》,2014年。b.周卫荣、杨君、黄维等:《中国古代银锭金属成分研究》,《中国钱币》2013年第3期。c. Yang, J., Jett, P., Brostoff, L., and Taube, M. 2009. A technical study of silver samples from Xi'an, Shaanxi province, China, dating from the Warring States period to the Tang dynasty. In Rehren, Th and Mei, J (eds). Metallurgy and Civilisation: Eurasia and Beyond. London: Archetype, pp 170-176.

㉝赵匡华、周嘉华:《中国科学技术史—化学卷》,第215-217页,科学出版社,1998年。

㉞黄崇轲、朱裕生:《中国银矿床和时空分布》,第2页,地震出版社,2002年。

㉟a Craddock, P.T., Cartwright, C., Eckstein, K., Freestone, I. C., Gurja, L., Hook, D., Middleton, A., Willies, L. 2013. Simple sophistication: Mauryan silver production in northwest India. The British Museum Technical Research Bulletin, 7, 79-93. b Kassianidou, V. 1992. Monte Romero (Huelva), a Silver Production Workshop of the Tartessian Period in SW Spain. Unpublished PhD Thesis, UCL Institute of Archaeology, p47-69. c Xie, P. and Rehren, Th., 2009. Scientific analysis of lead-silver smelting slag from two sites in China. In Rehren, Th. and Mei, J. (eds) Metallurgy and Civilisation: Eurasia and Beyond. London: Archetype, pp 177-183.

⑤ Demetriades, A. 2003. 5th Biennial SGA Meeting, Lavreotiki (Lavrion) Excursion Guide. Athens: Institute of Geology and Mineral Exploration, 19.

⑥ 杨昔林:《德兴银山铜铅锌矿地质特征与深部勘查评价》,第27-28页,中南大学硕士学位论文,2011年。

⑦ Kassianidou, V. 1992. Monte Romero (Huelva), a Silver Production Workshop of the Tartessian Period in SW Spain. Unpublished PhD Thesis, UCL Institute of Archaeology, p47-69.

⑧ 霍有光:《中国古代矿冶成就及其他》,第11-13页,陕西师范大学出版社,1995年。

⑨ Nakanishi, T. and Izawa, E. 2014. Evolution of silver-smelting technology of Japan in the middle of sixteenth century. ISIJ International, 54 (5), 1093-1097.

(上接第137页)

家们对一些文物的价值进行了重新评估,认为目前许多文物点的保护级别不符合其本身的价值,同时专家也对文物的保护和利用提出了诸多建议和方案。

两次的自贡井盐遗址及盐运古道调查在以往文化线路调查的基础上也增添了新的特点。首先考察采取了跨省区多单位联合的模式,充分发挥了各单位对本地区相关文物点和线路情况熟悉的优势,使得考察选点全面、整体推进顺利,同时跨省区的考察也打破了行政区域的限制,使得对线路的考察更加全面、深入;其次,除了考古学和历史学家,这次考察还邀请了来自各高校的语言学等方面的专家,使得考察能够多角度、系统性的展开;考察还邀请了来自于北京、广东等地的民间团体,是一次真正的公众考古的实践。

摄影:李飞

绘图:刘真珍

执笔:李飞、王彦玉、戴旭兵、丛宇

注释:

本文为四川省科学技术厅四川省省级公益性科研院

附记:

本文得到国家文物局“江西古代冶金遗址的调查与研究”、“文物保护科技优秀青年研究计划(No.2014226)”、教育部人文社会科学重点研究基地重大项目“皖南地区早期铜冶金的技术与社会(No.14JJD78003)”和国家自然科学基金《中国古代坩埚炼铅技术初步研究》(No.5140040214)的资助。

灰吹法是在高温下从铅等贱金属中分离金、银的方法。此过程中,铅在高温下被氧化成氧化铅(弥陀僧)并被炉灰等吸收,而金银惰性较强,仍保持金属态从而被分离出来。

所基本科研业务费专项资金项目“自贡井盐遗址与盐运古道研究”的成果。

(东汉)崔骃:《博徒论》。

(东晋)常璩:《华阳国志·蜀志》。

⑩(唐)李吉甫:《元和郡县图志》(卷三十四)。

唐贞观二十三年(649年)因避讳皇帝李世民的‘世’字,更名为富义县。

⑪(后晋)刘昫等:《旧唐书》(卷四一)。

⑫(唐)李吉甫:《元和郡县图志》卷三十三。

(南宋)王象之:《舆地纪胜》卷一六七。

(南宋)陆游:《剑南诗稿》卷六。

⑬(明)张瀚:《松窗梦语》卷二。

⑭包括古镇、古街道、会馆书院、祠、堂、宫、庙、住宅、牌坊等各类型文物建筑。

⑮程龙刚:《古盐井——千年盐都的城市记忆》,《中国文化遗产》2014年第5期。

⑯该信息来源于自贡市三普资料,据东岳庙原先的碑文得知,目前该石碑已遗失。

⑰王日根:《明清时代会馆的演进》,《历史研究》1994年第4期。

⑱对于自贡盐业会馆的这几项基本功能,自贡市盐业历史博物馆的宋良曦先生在其《自贡盐业会馆的兴起与社会功能》一文中有详细阐述,载于《盐业史研究》2001年第4期。