

中子无损分析技术在西汉铜铁 箭镞中的应用研究

报告人：赵凤燕

西安市文物保护考古研究院

Email: fyzhao717@163.com



目录

1. 介绍

2. 样品与实验

3. 结果与讨论

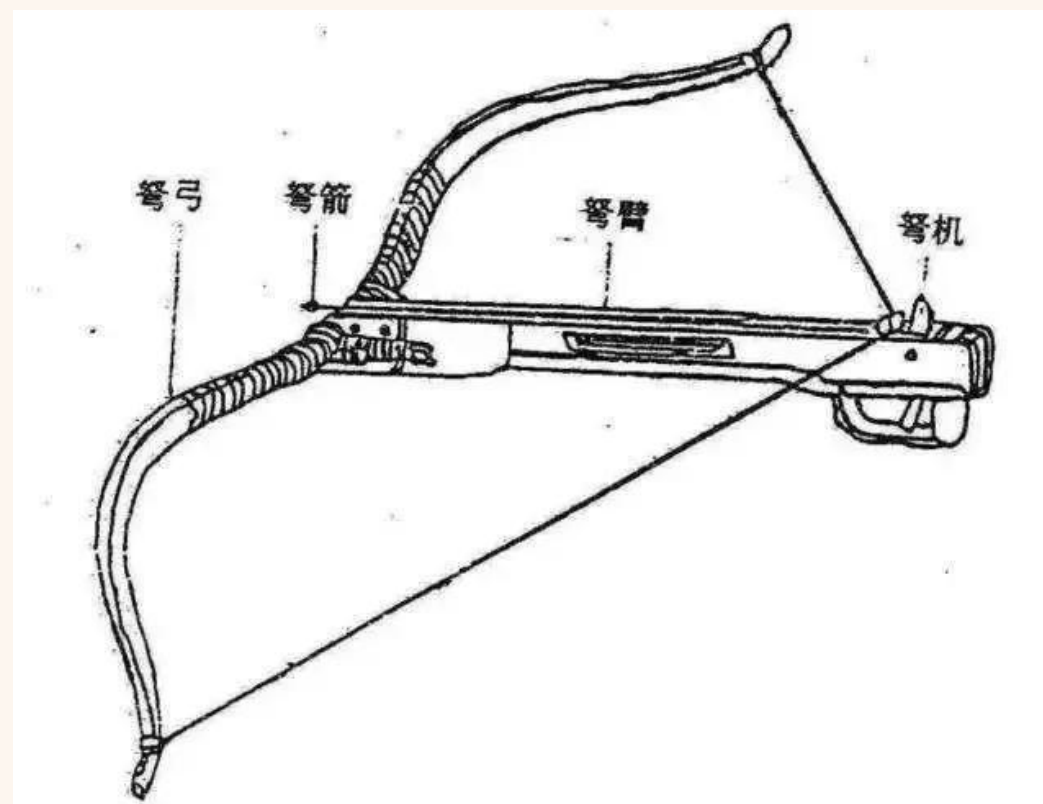
4. 结语

01

介绍

介绍

- ◆ “国之大事，在祀与戎”。军事在国家形成和发展的过程中扮演着重要角色，而武器是一个国家军事实力的重要体现。考古发现，秦汉时期的进攻性武器主要有剑、刀、矛、戈、镞等。秦陵一号坑出土铜镞达38000多件，另有2件铁铤铜镞和1件铁镞。汉长安城武库遗址出土铜镞44件，铁铤铜镞153件，铁镞1131件。因镞的数量比较多，可将其作为考察秦汉时期军事实力的主要依据之一。



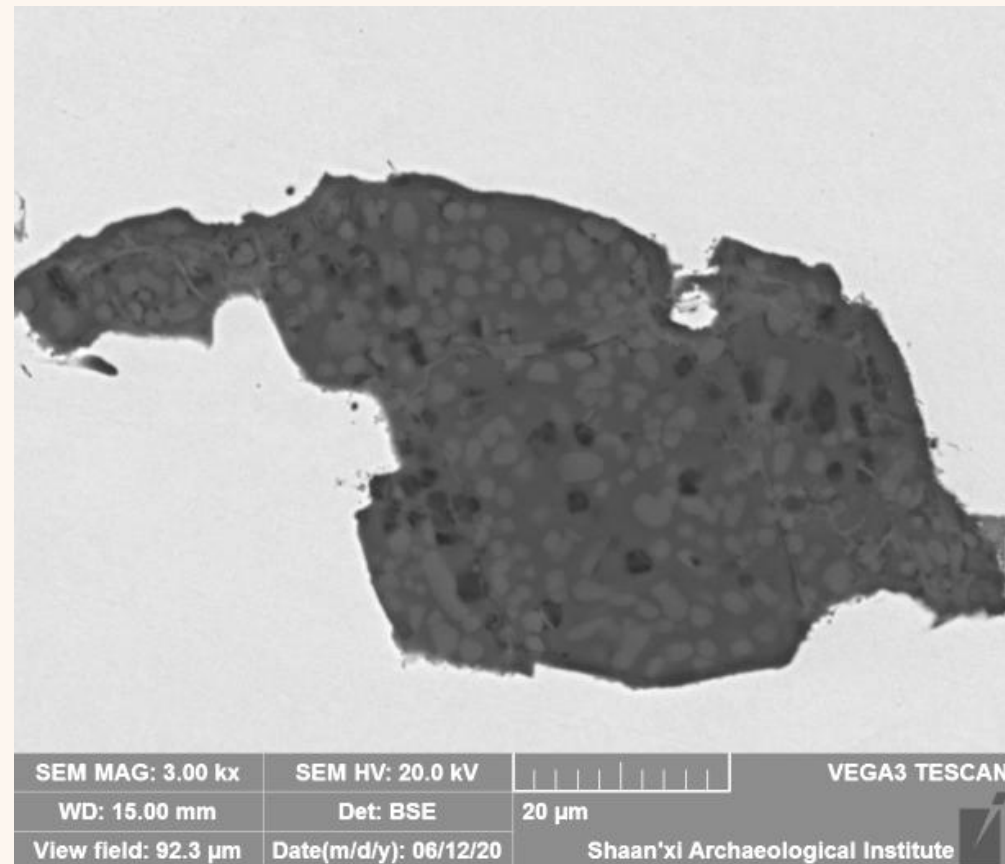
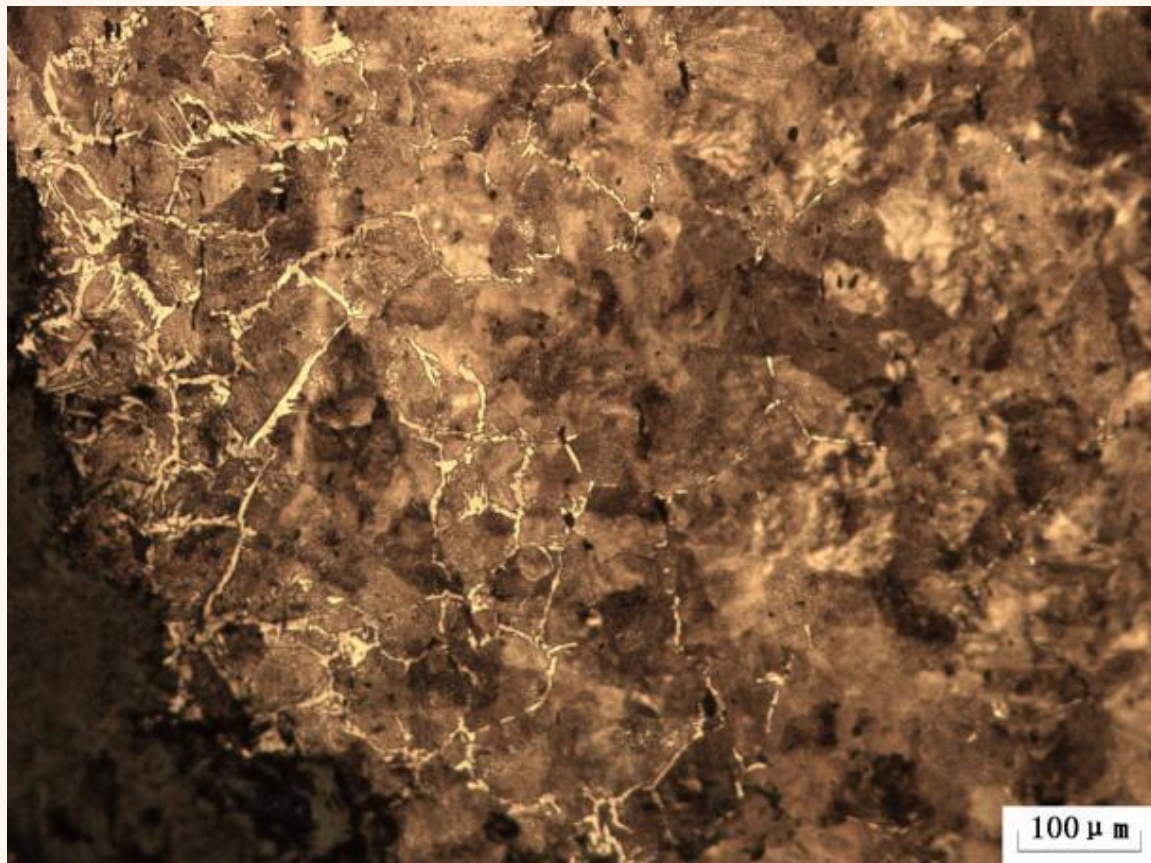
介绍

- ◆ 在几百上千年的埋藏环境中，铜铁质文物极易腐蚀。对于复合金属材料制成的铁铤铜镞尤其如此。因此，考古出土的铜铁箭镞大多已锈迹斑斑，需进行保护修复处理。



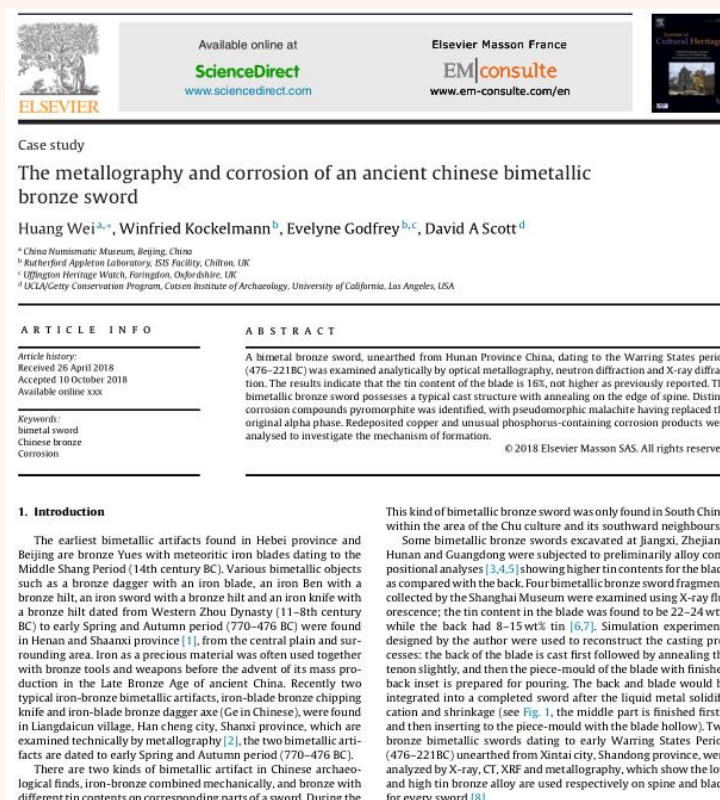
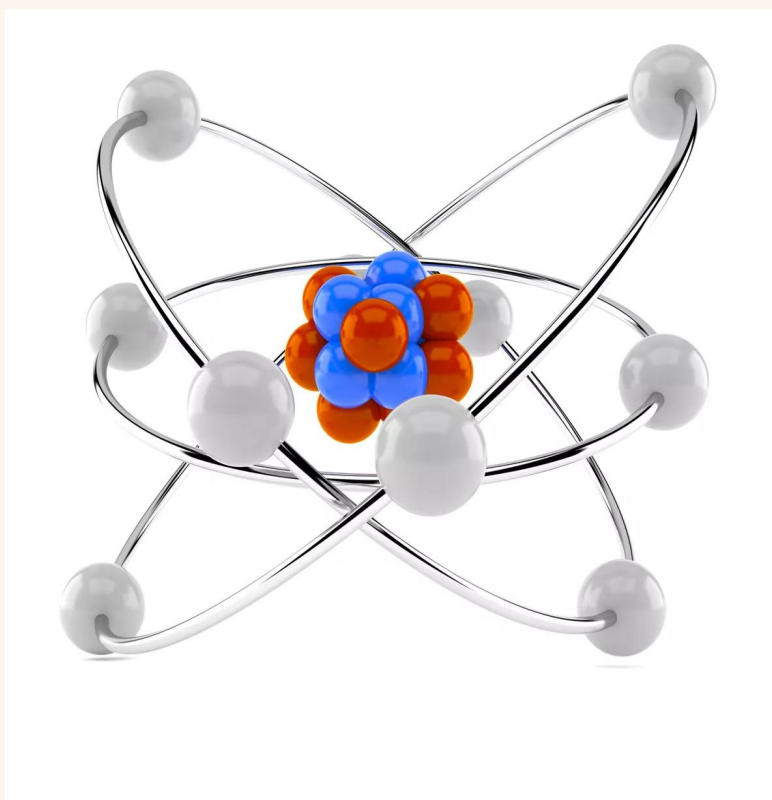
介绍

- ◆ 需进行制作工艺和腐蚀特征研究。传统方法主要是对文物进行取样，采用金相显微分析和SEM-EDS等方法，对样品截面进行金相组织和元素成分检测。采用X光探伤技术了解内部结构和腐蚀状况。采用XRD和Raman等技术对锈蚀产物进行分析。这些方法具有显著优势，但也存在局部分析、有损取样等局限性。



介绍

- ◆ 原子由原子核和带负电的电子构成，其中原子核包括带正电的质子和不带电的中子。中子与X射线相比，具有更高穿透性和更强的元素辨识力。
- ◆ 过去几十年，中子共振俘获分析（NRCA）、中子衍射（ND）和中子层析成像（NT）三种无损分析技术在国外特别是欧洲较多地应用于文化遗产领域。但是在中国文物领域的应用尚处起步阶段。



介绍



02

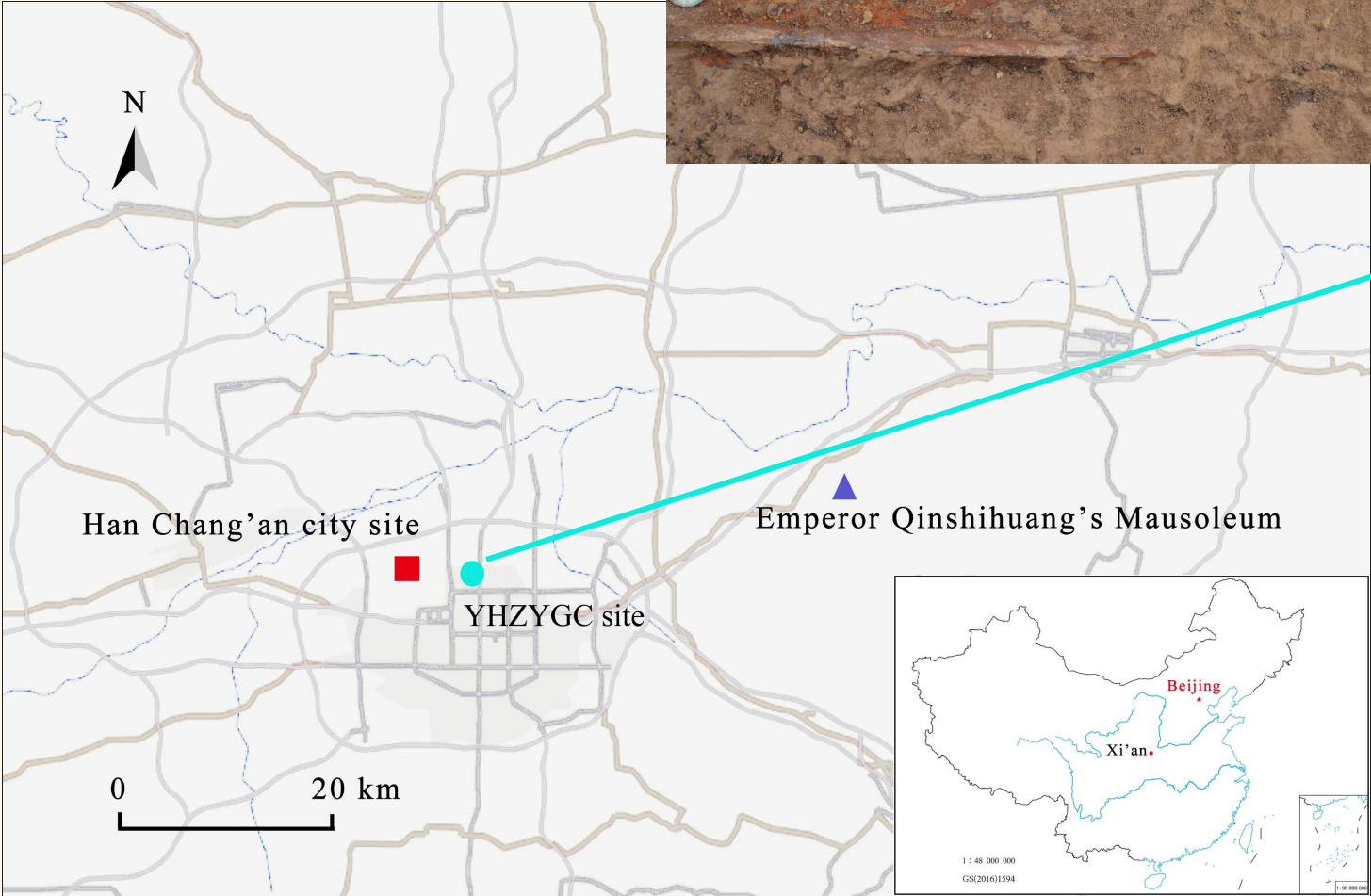
样品与实验

1. 样品

出土69件铁铤铜镞和9件铁镞。

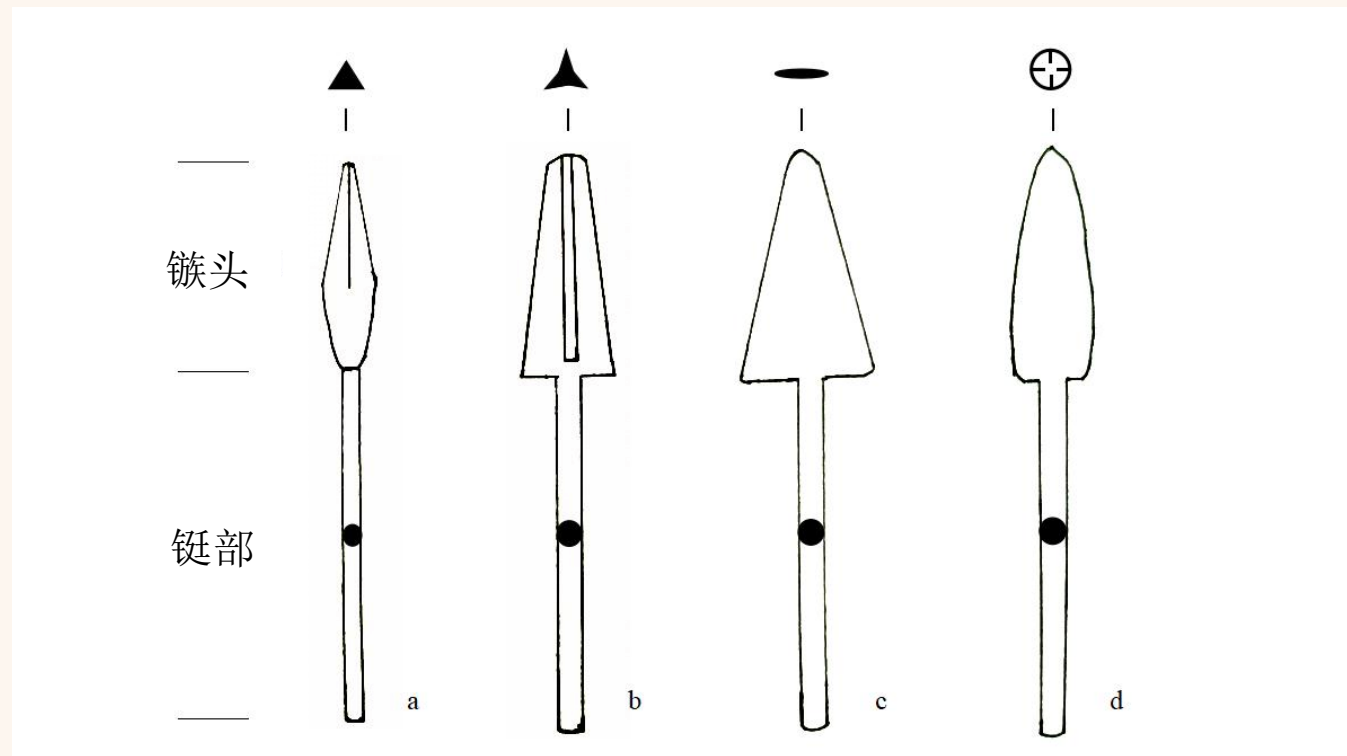


西安北郊雅荷中央广场
西汉中期墓葬M36



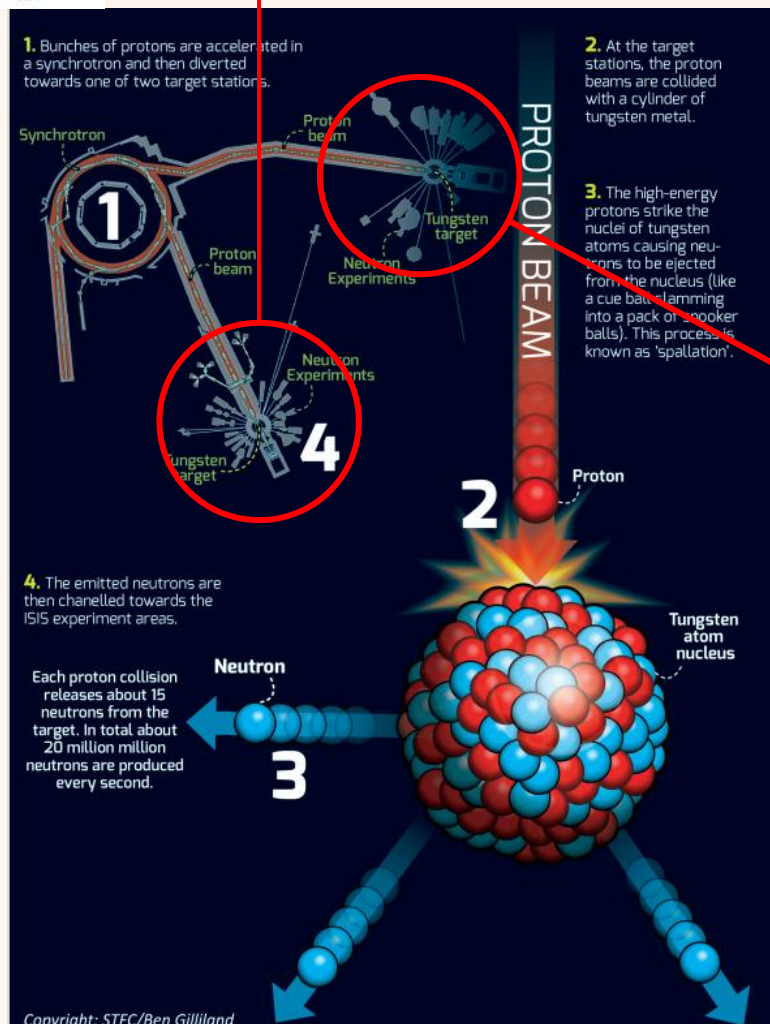
1. 样品

根据保存状况和形制特征，选择5件铁铤铜镞和1件铁镞进行分析。

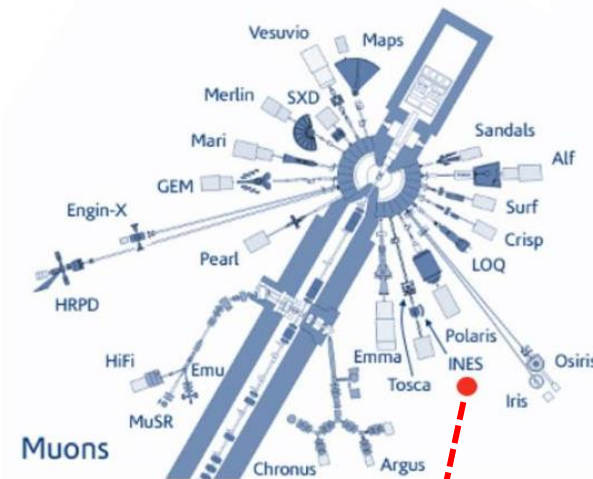


2. 实验

英国卢瑟福阿普尔顿实验室
ISIS散裂中子源

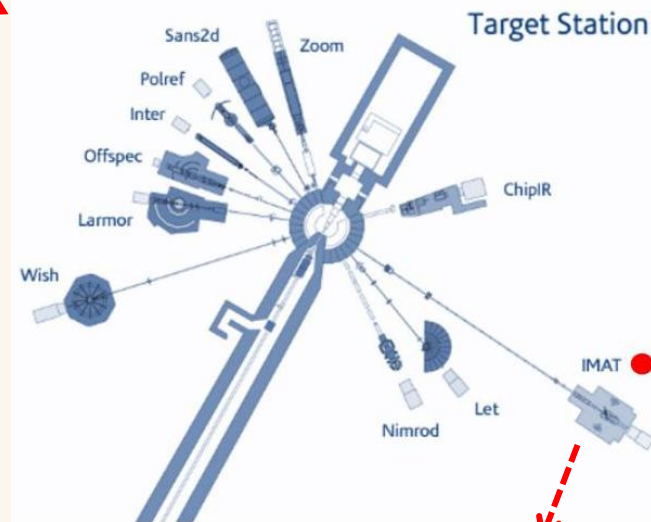


Target Station 1



INES: NRCA & ND

Target Station 2

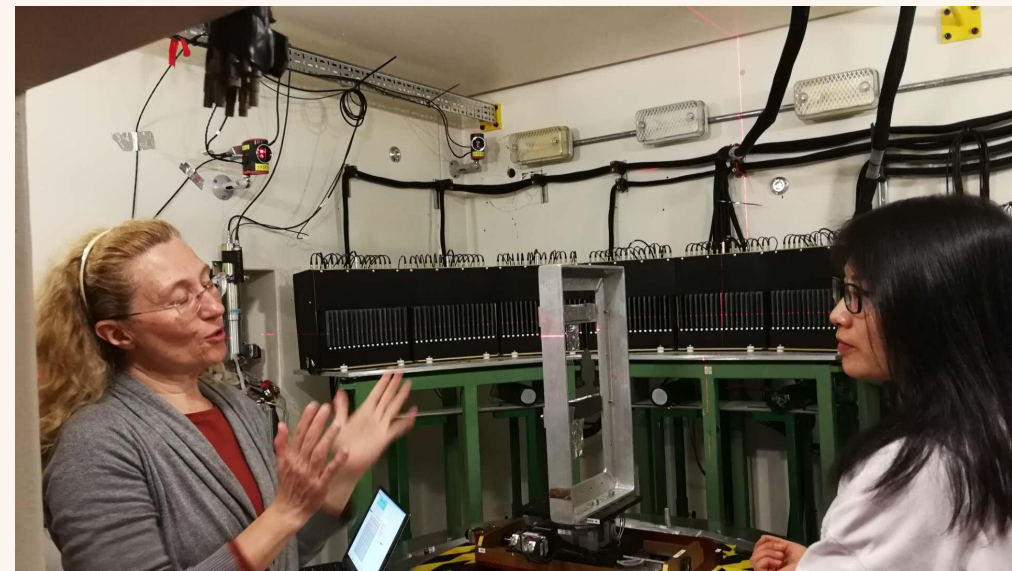
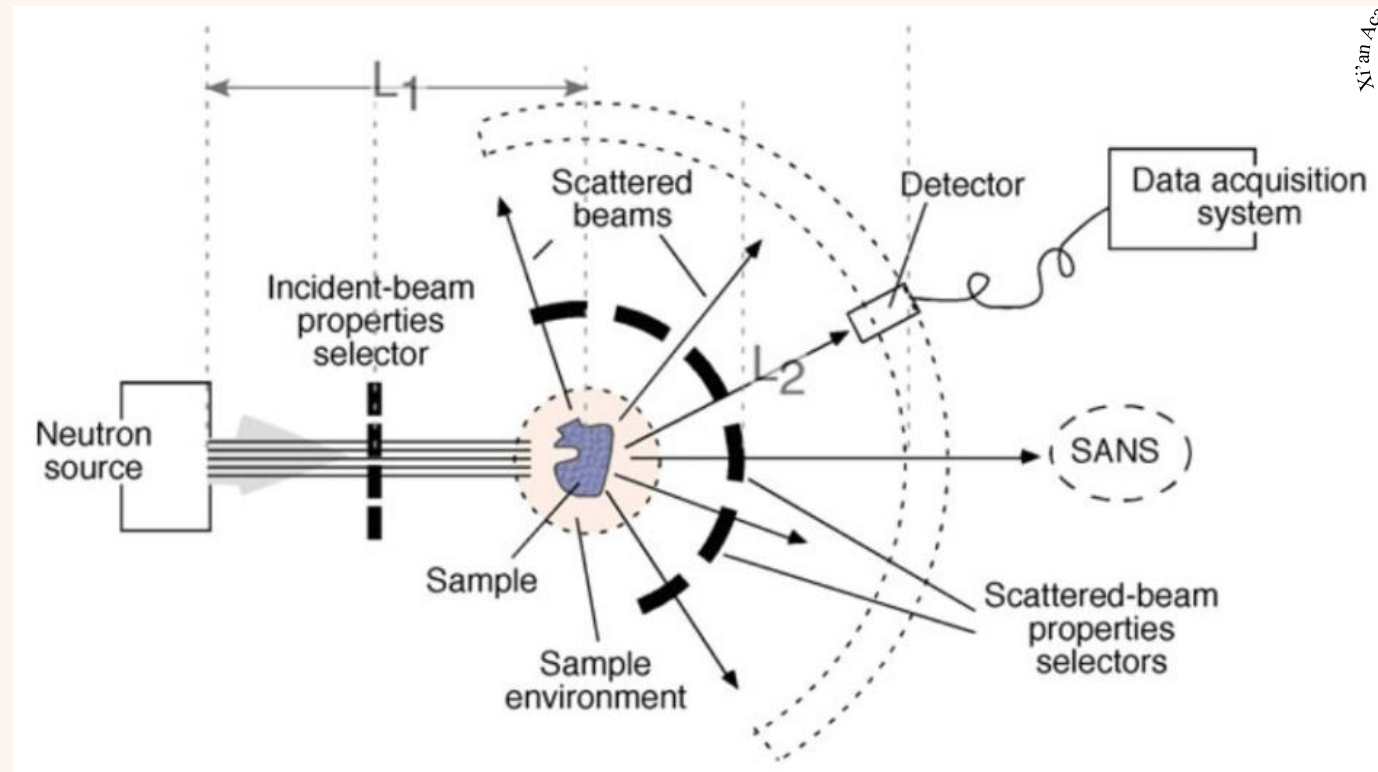


IMAT: NT

2. 实验

INES

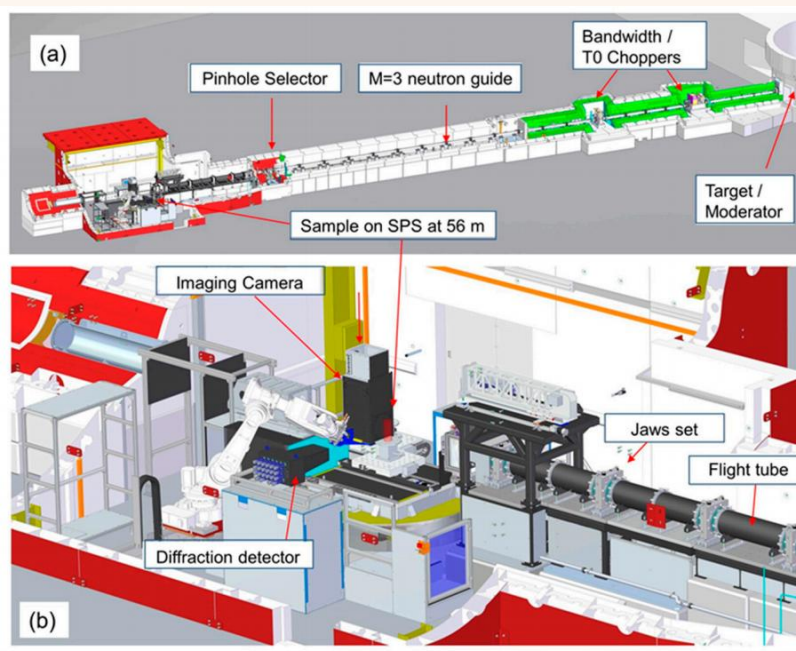
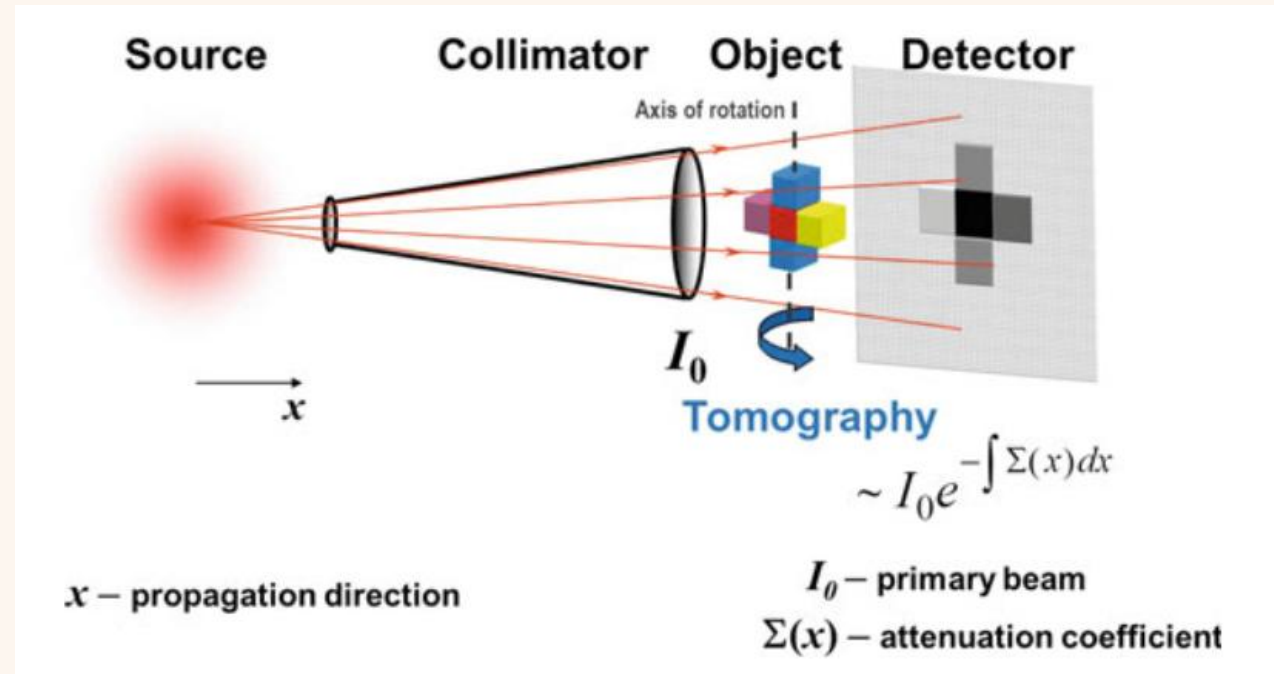
(Italian Neutron Experimental Station)



2. 实验

IMAT

(Imagine and Materials Science and Engineering)

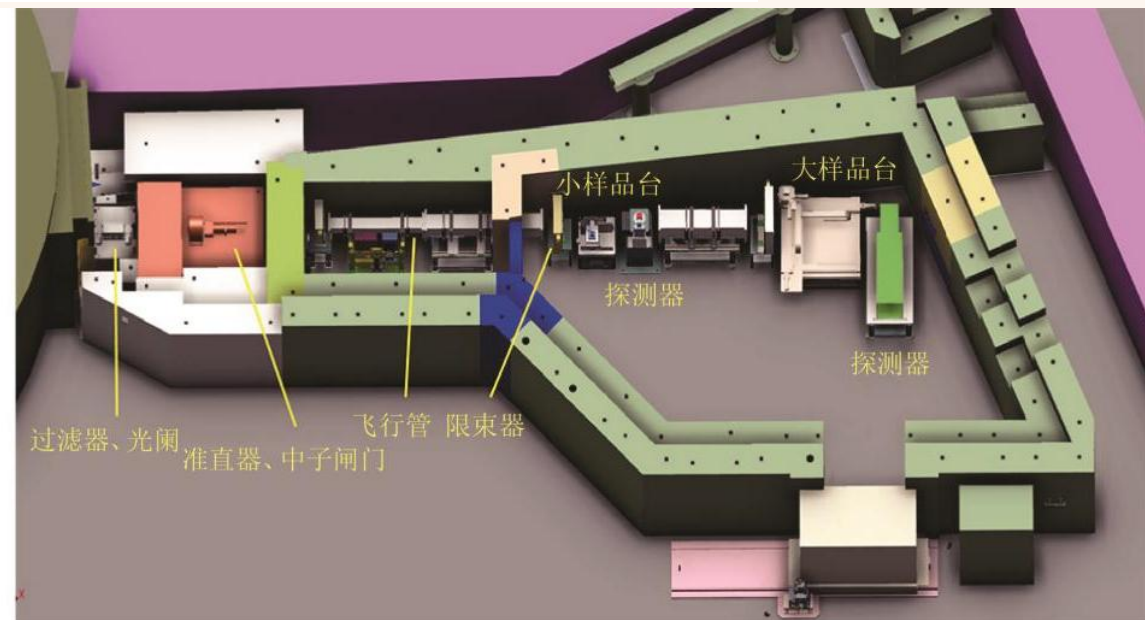


2. 实验

中国原子能科学研究院
中国先进研究堆CARR



热中子成像装置



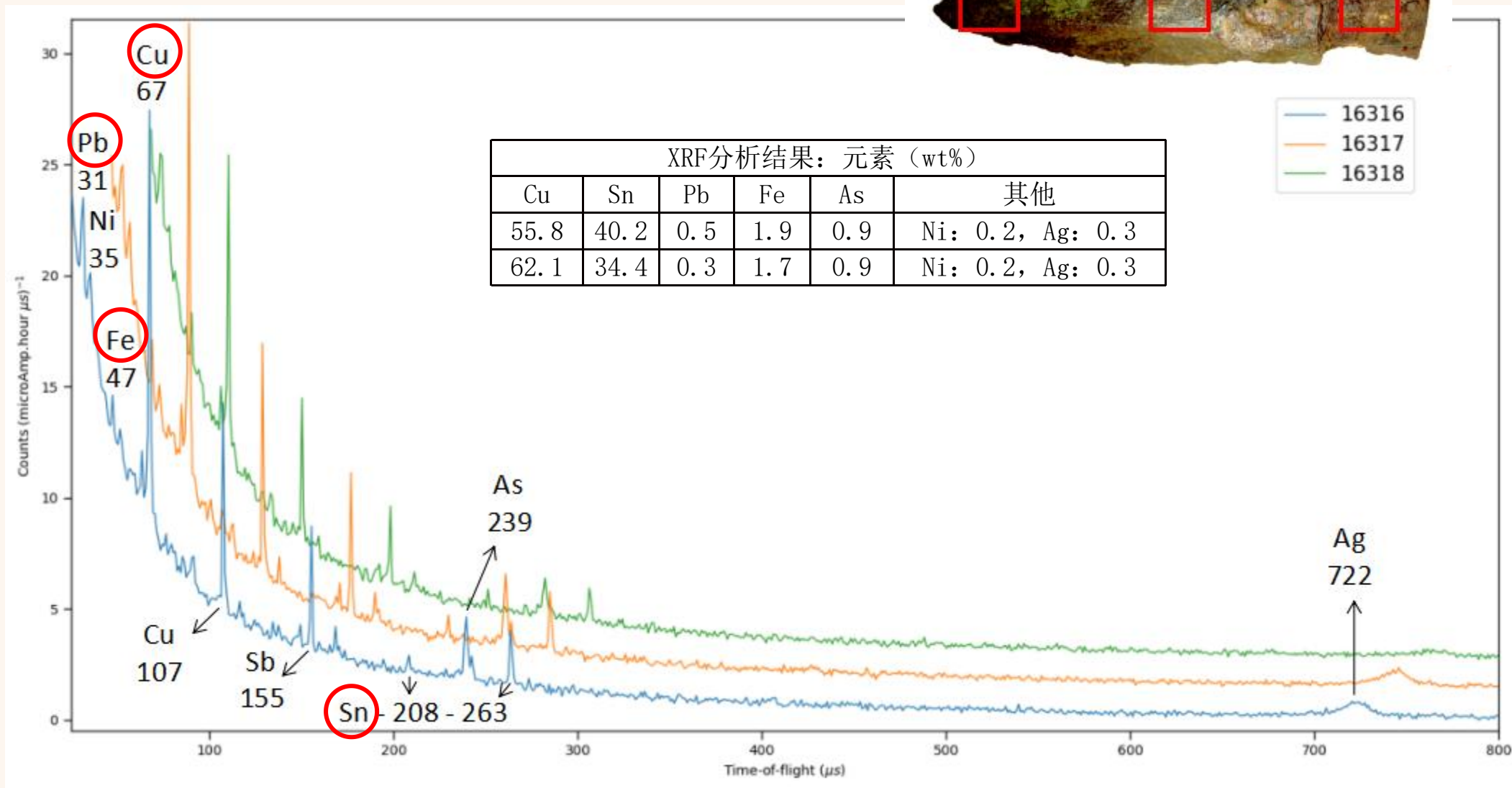
03

结果与讨论

1. 元素组成

NRCA谱图，低铅高锡青铜

16316 Tip 16317 Center 16318 Bottom
5 × 5 mm 5 × 5 mm 5 × 5 mm



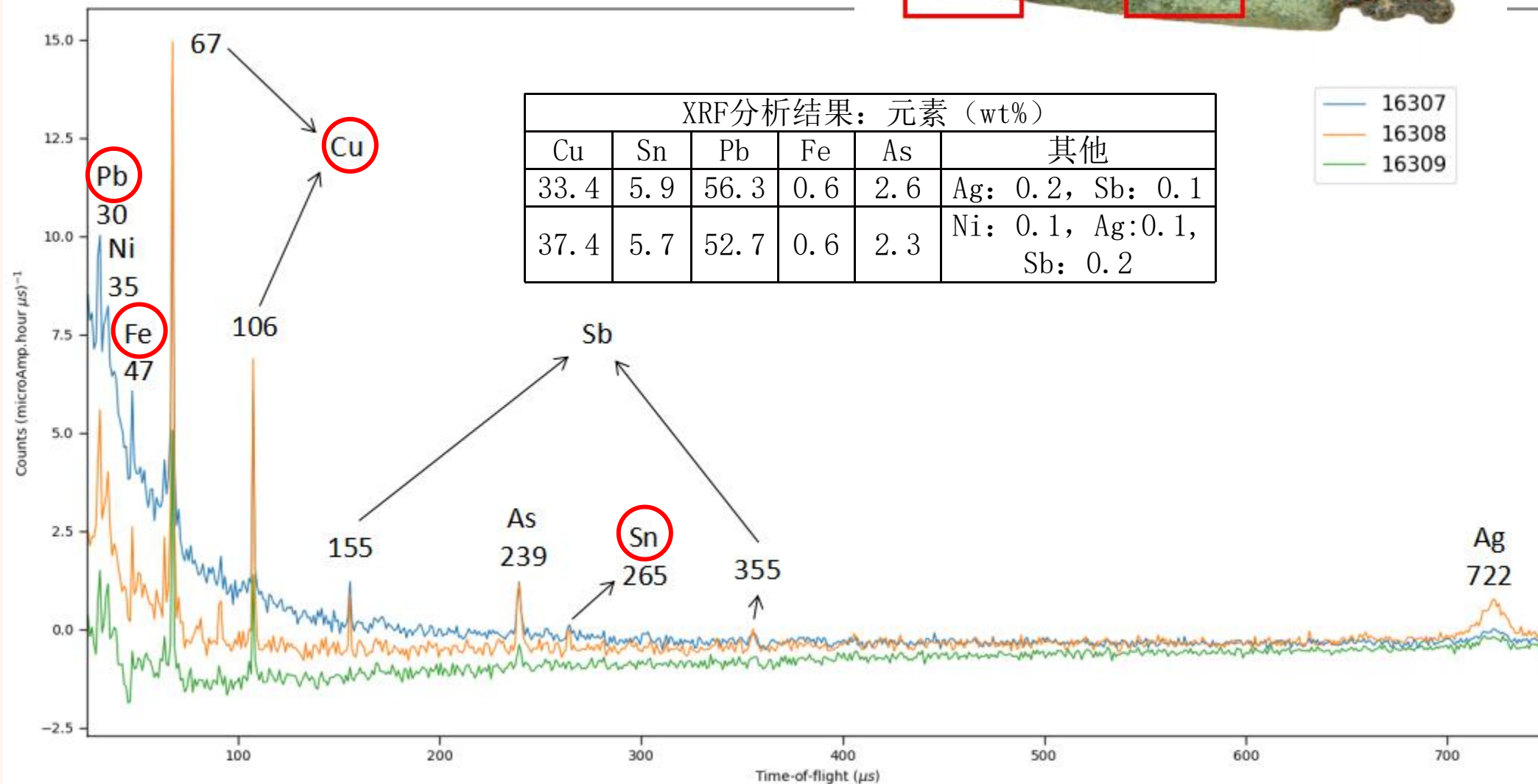
1. 元素组成

NRCA谱图，高铅低锡青铜

16309 Tip
10 × 10 mm

16308 Center
10 × 10 mm

16307 Bottom
5 × 5 mm



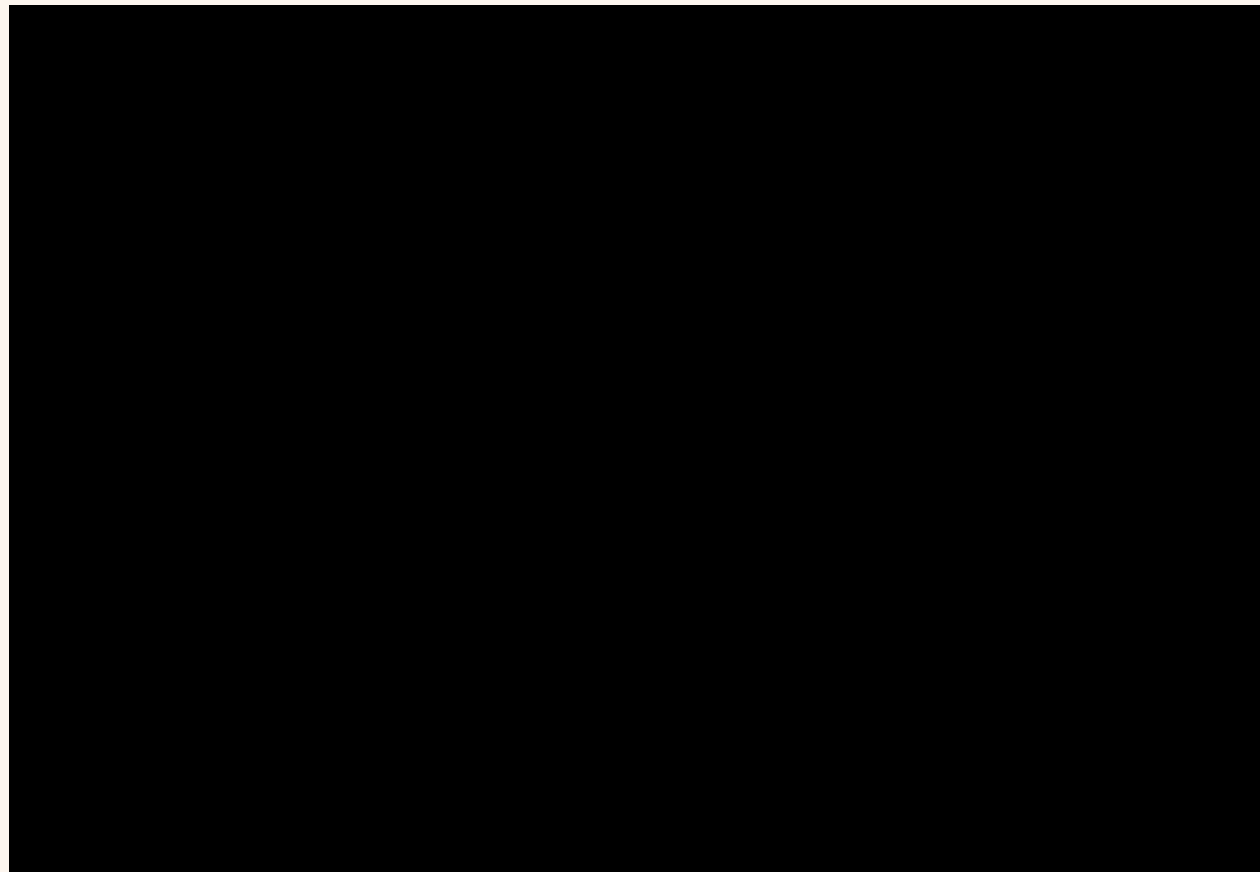
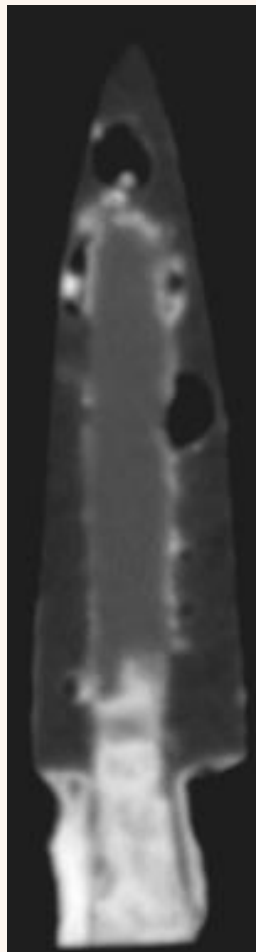
2. 内部结构

根据NT影像，铁铤铜镞中，铁铤一端被铜镞包裹。



1

2



2. 内部结构

铁铤与铜镞为铸接相连。

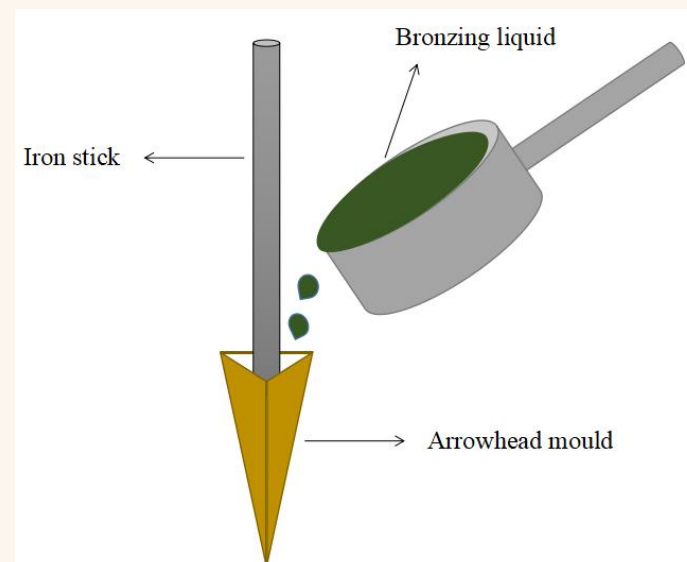
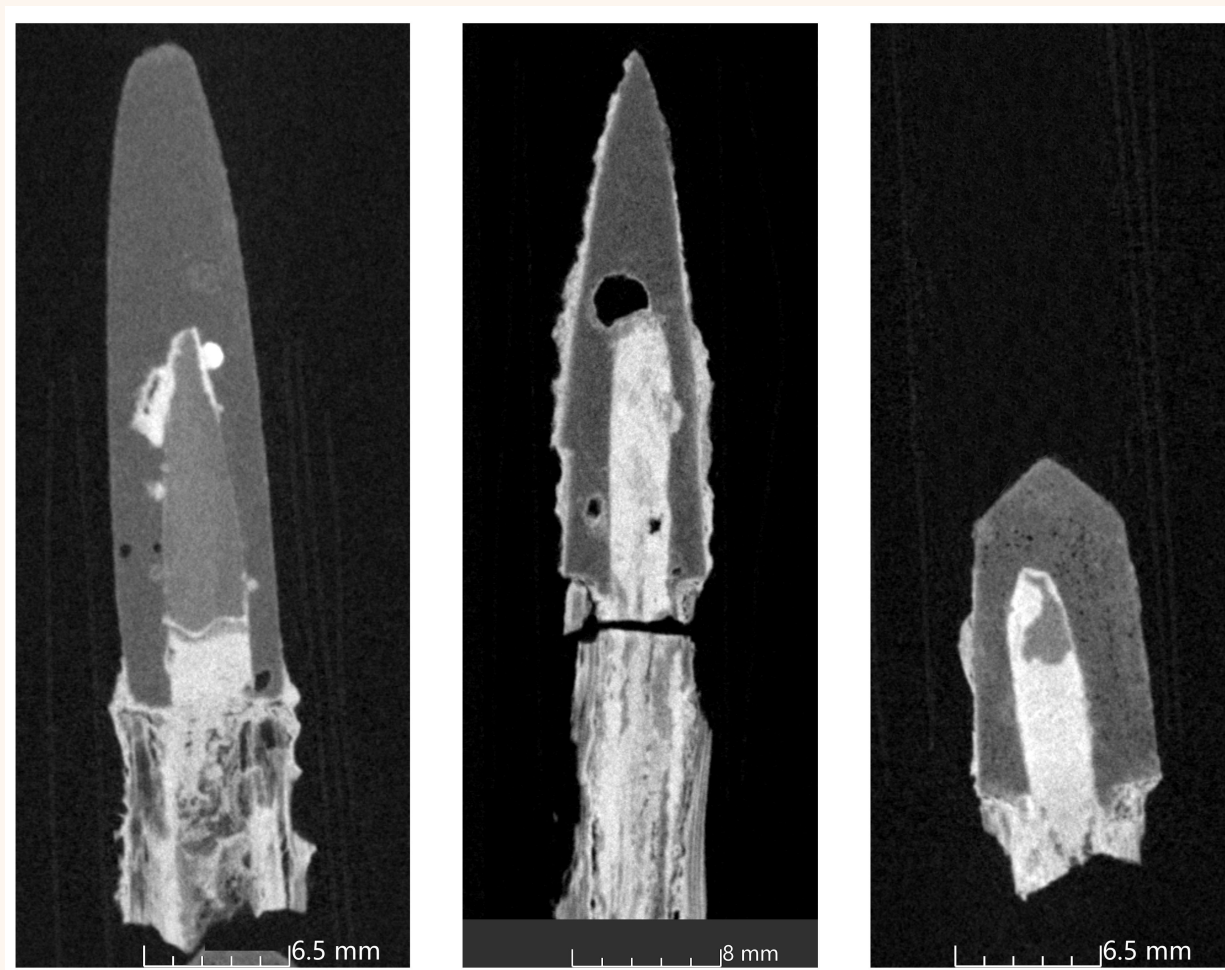
3D重建



3

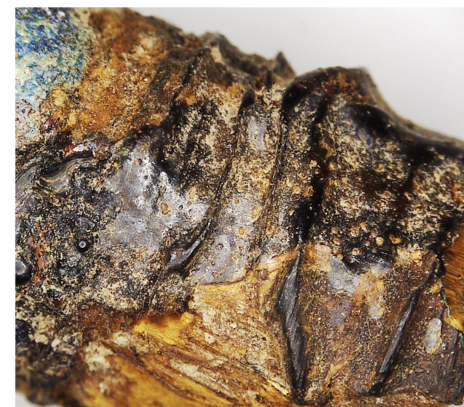
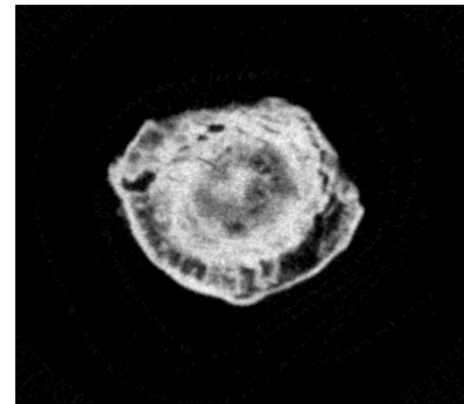
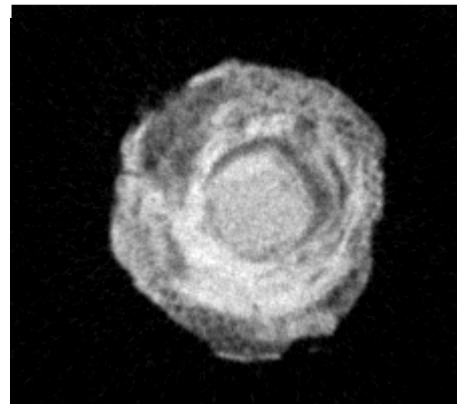
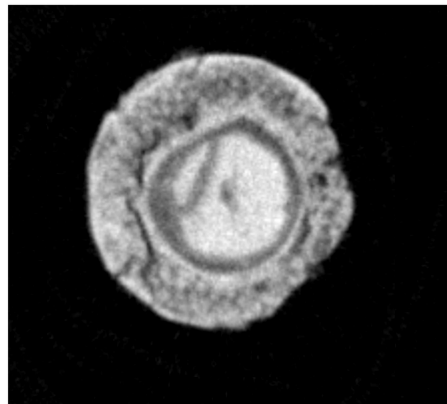
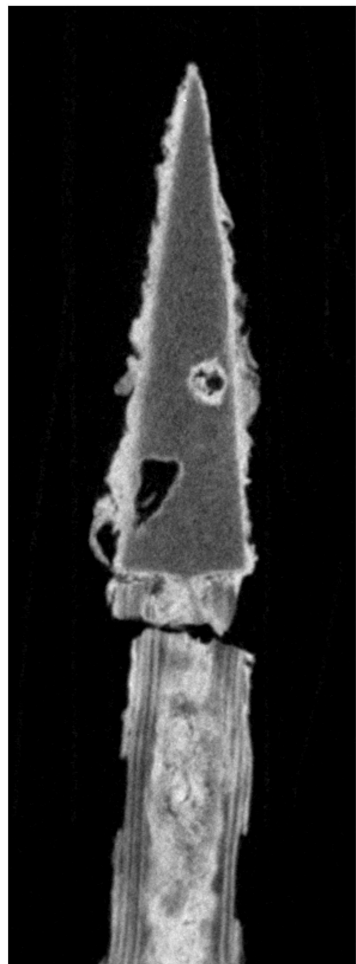
4

5



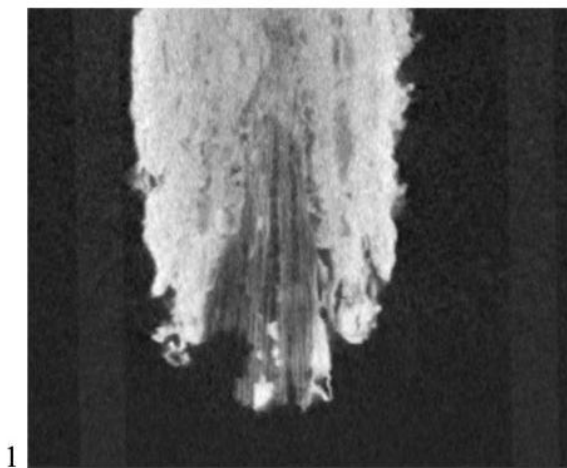
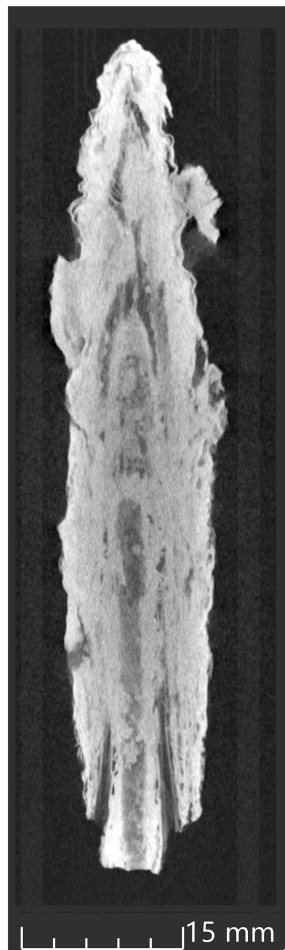
2. 内部结构

铤外包裹物推测含胶结物、竹木片、细线和黑漆。

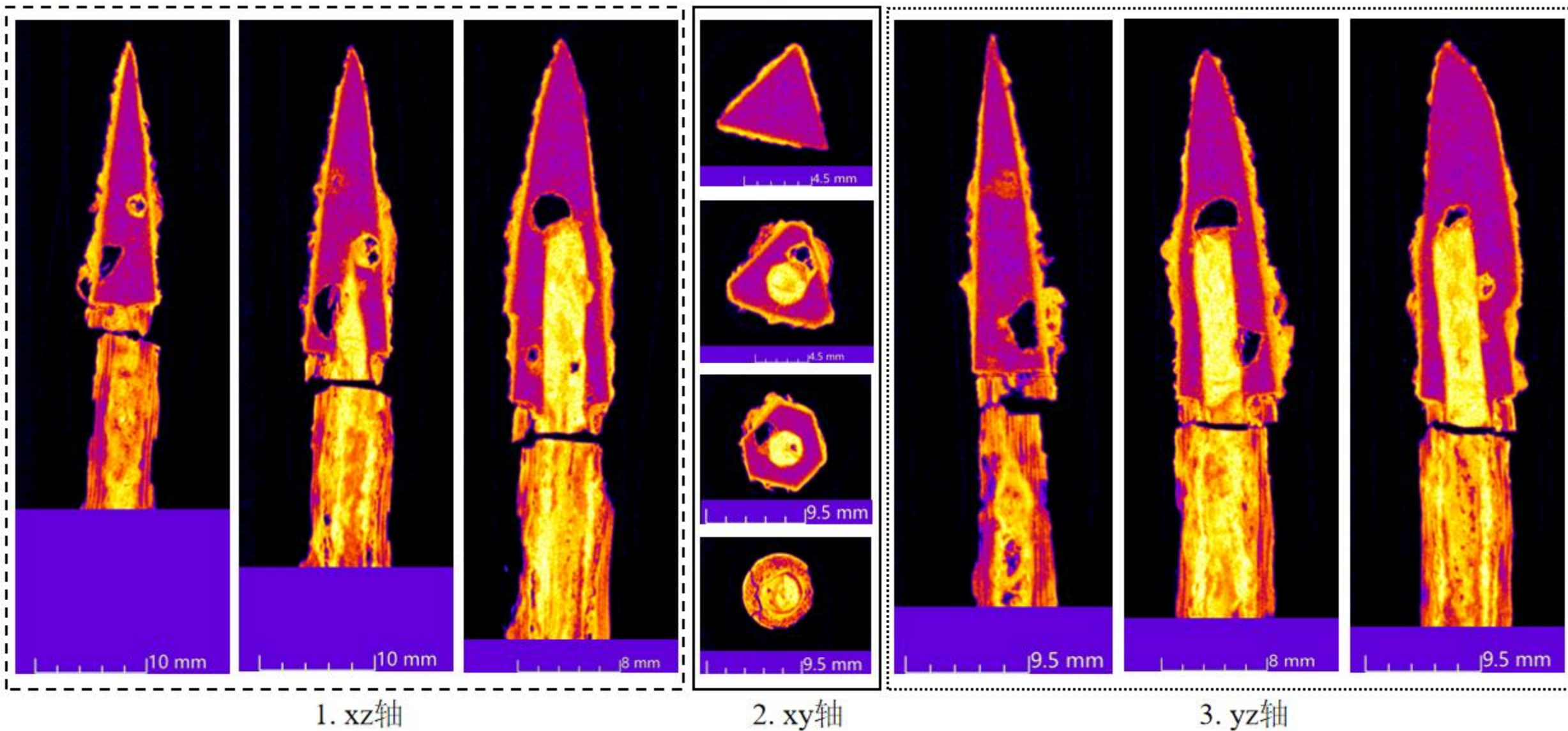


2. 内部结构

铁铤与铁镞为分铸后机械连接，连接部位以竹木材料填充。

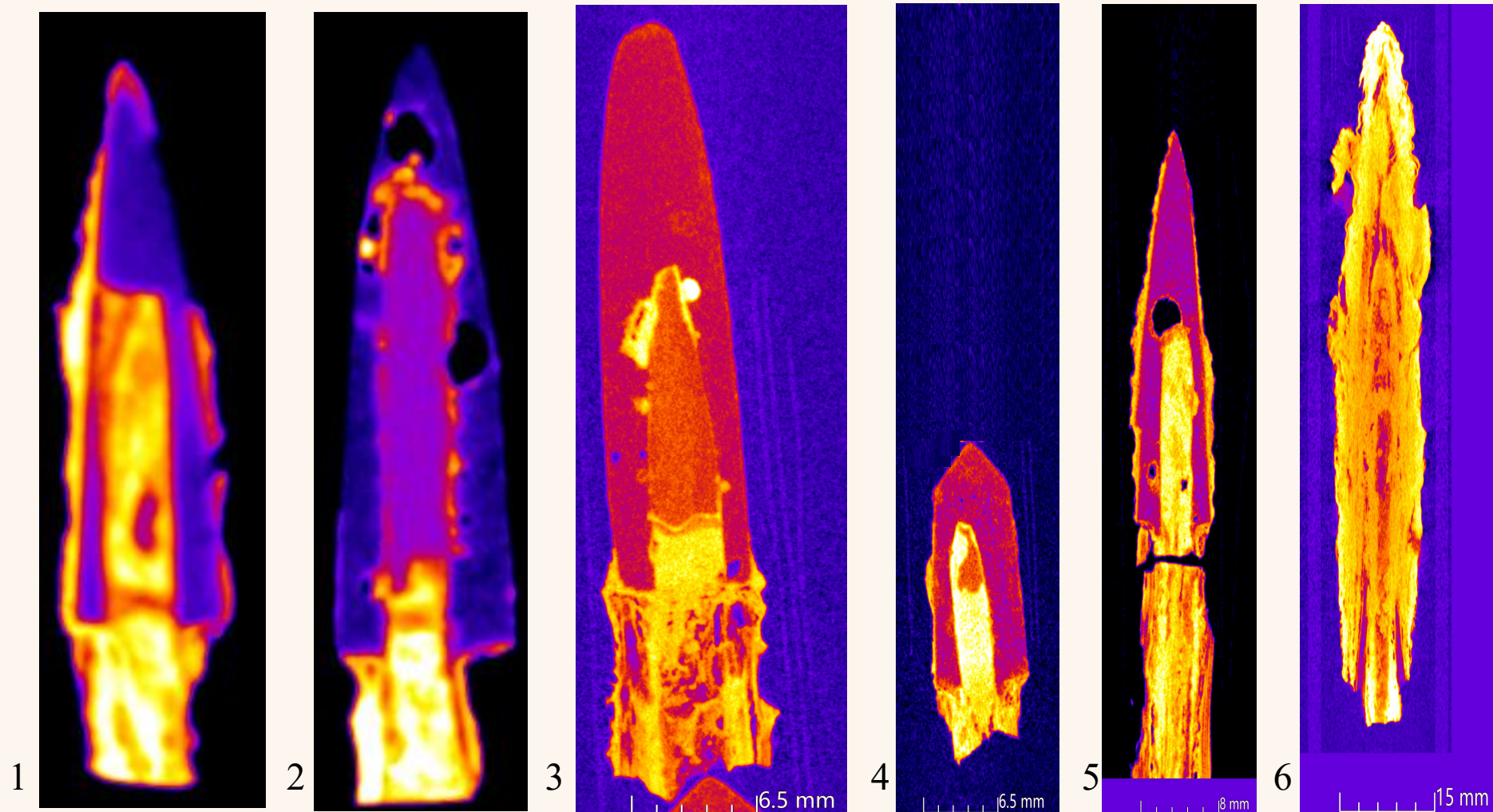


3. 腐蚀程度



3. 腐蚀程度

铁铤铜镞中，铁铤比铜镞腐蚀严重。1、4、5、6箭镞的铁铤和6号铁镞几乎已完全腐蚀，没有铁芯。

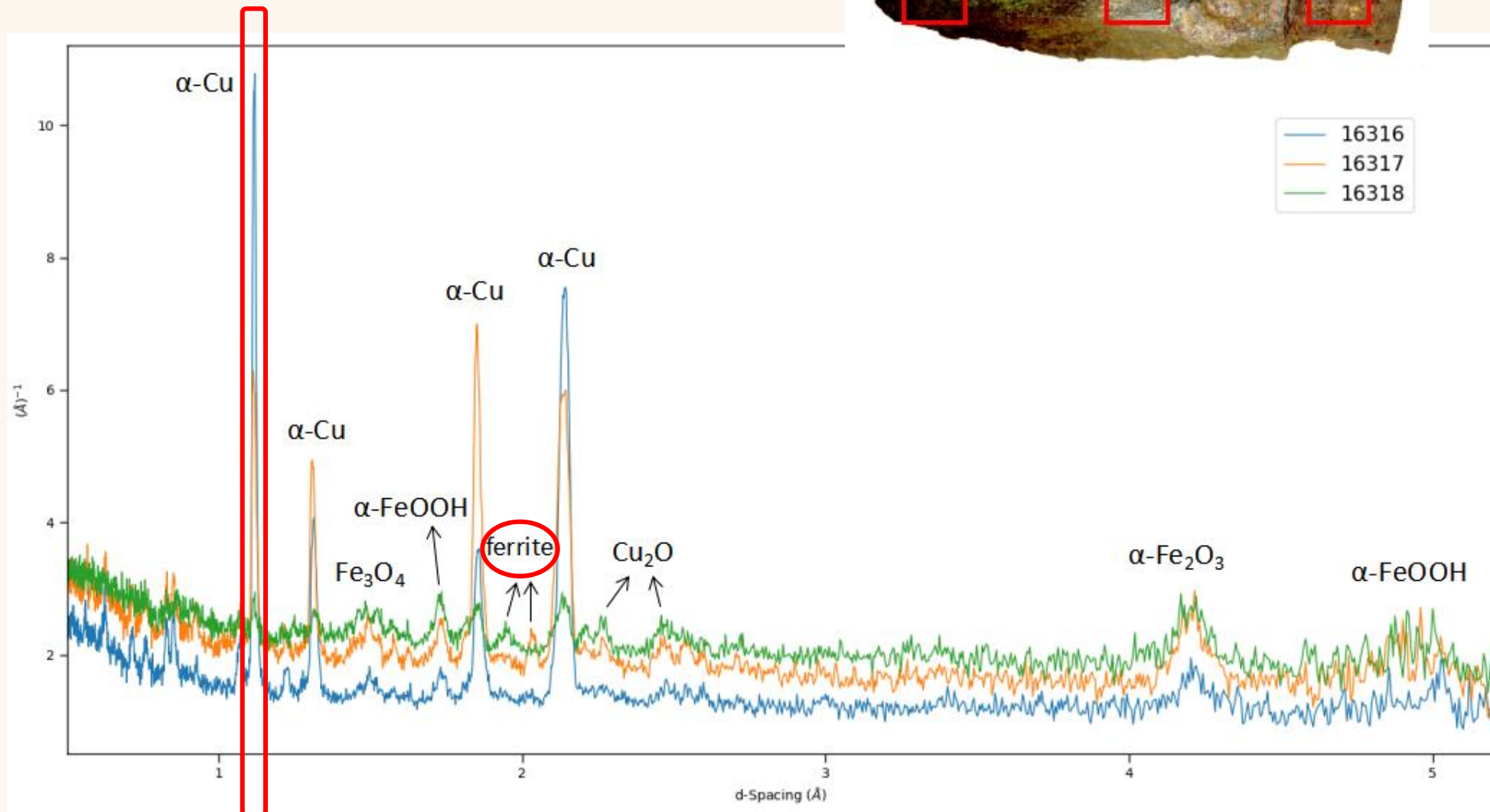


4. 金相组织与腐蚀产物

第8组ND数据: α 固溶体、铁素体; 赤铜矿、针铁矿、赤铁矿、磁铁矿

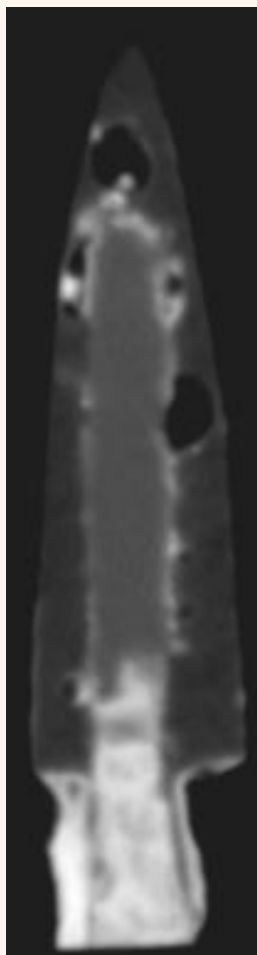


16316 Tip 5 × 5 mm 16317 Center 5 × 5 mm 16318 Bottom 5 × 5 mm



4. 金相组织与腐蚀产物

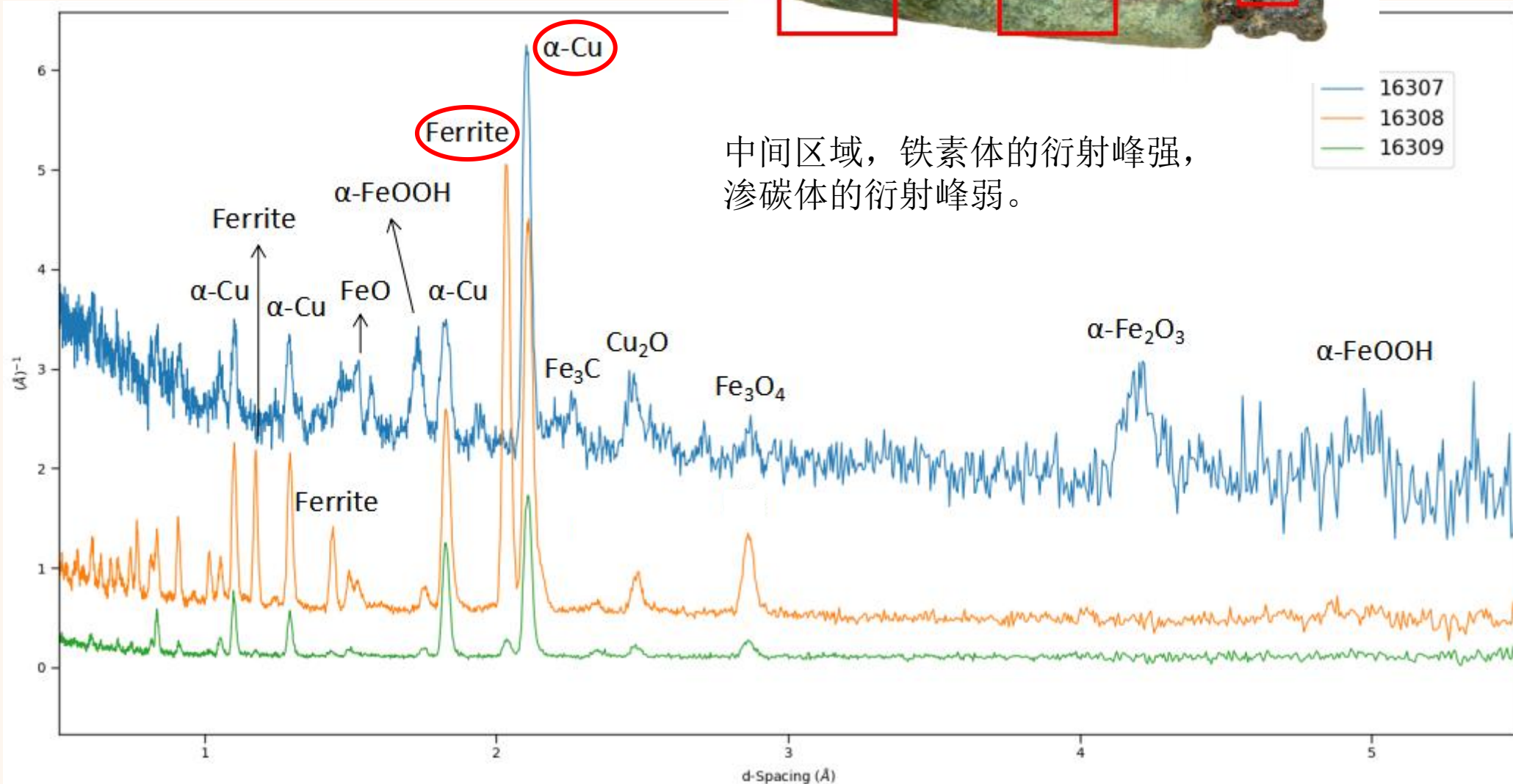
ND谱图： α 固溶体、铁素体；赤铜矿、针铁矿、赤铁矿、磁铁矿



16309 Tip
10 × 10 mm

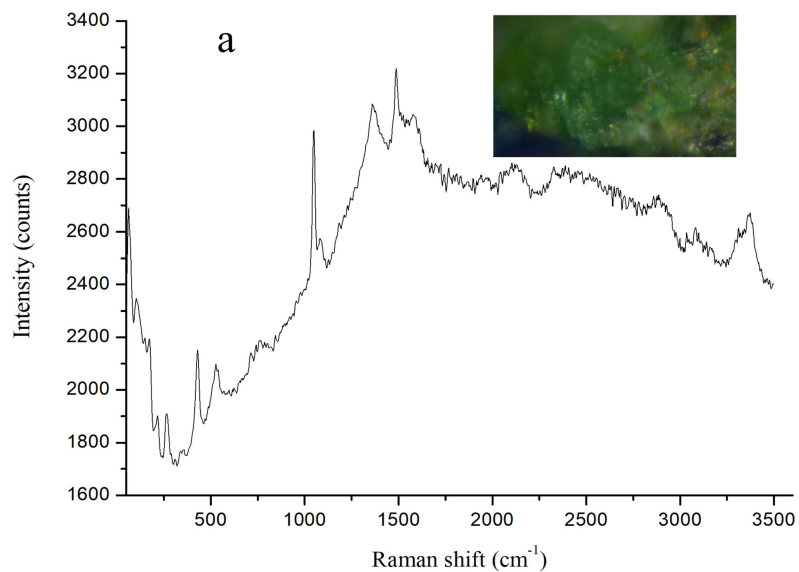
16308 Center
10 × 10 mm

16307 Bottom
5 × 5 mm

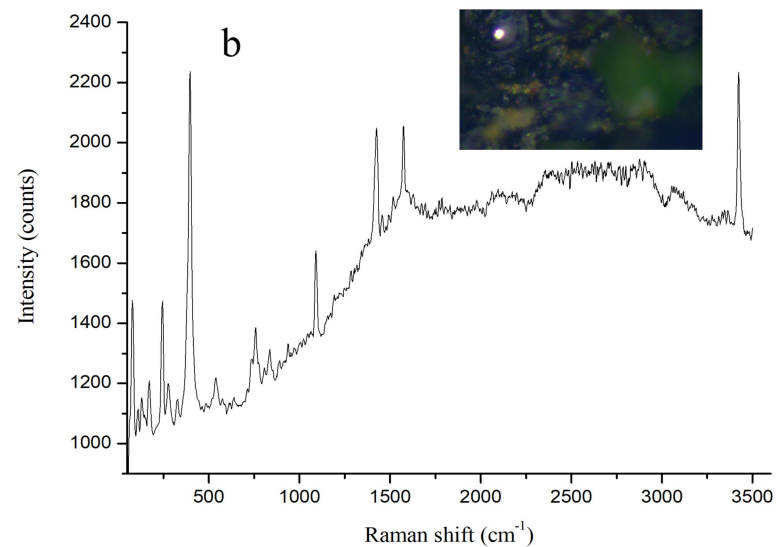


4. 金相组织与腐蚀产物

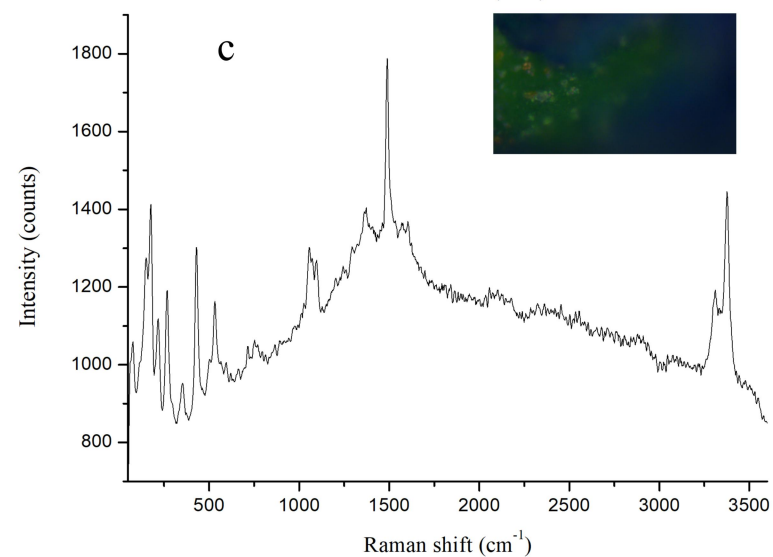
白铅矿



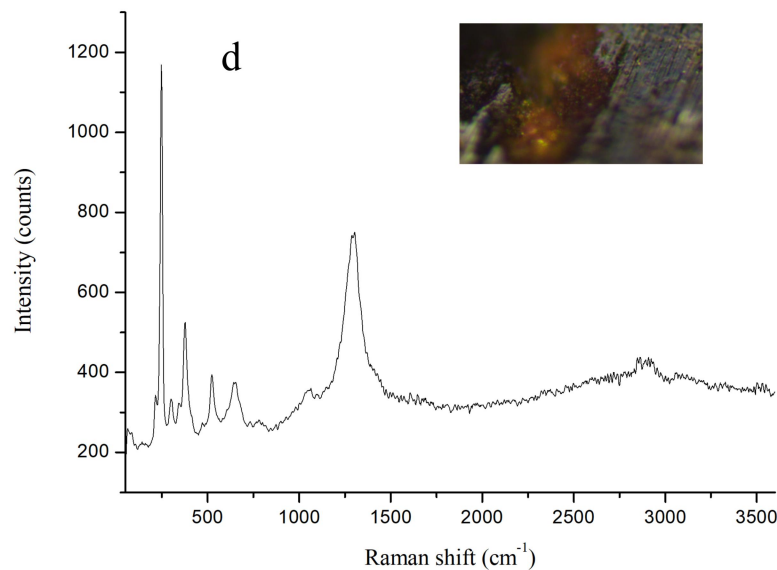
蓝铜矿



孔雀石



纤铁矿



04

结语

结语



材质种类

- 铜镞为铅锡青铜合金，铁铤可能为熟铁材质。

制作工艺

- 铁铤铜镞中，铤与镞为铸接相连，铤外包裹物推测含胶结物、竹木片、细线和黑漆。铁镞中，铤与镞为分铸后机械连接，连接部位以竹木材料填充。

腐蚀程度

- 铜镞保存较好，铁镞与铁铤均腐蚀严重，部分已无铁芯。

腐蚀产物

- 腐蚀产物主要包括赤铜矿、针铁矿、赤铁矿和磁铁矿。另外还有少量白铅矿、蓝铜矿、孔雀石和纤铁矿。

敬请各位专家批评指正！

- 本研究为国家社科基金项目“西安出土两汉铁器材质与制作技术研究”（编号22FKGB010）的阶段性成果。
- 《Revealing the manufacturing and corrosion characteristics of Chinese archaeological metal arrows by non-destructive neutron techniques》（F. Y. Zhao, M. L. Sun, P. X. Li, A. Scherillo, F. Grazzi, W. Kockelmann, F. Guo, C. Wu, Y. P. Wang）已发表于《Archaeological and Anthropological Sciences》（2024年3月，<https://doi.org/10.1007/s12520-024-01957-y>）；
- 《西安汉墓出土铜铁箭镞的中子成像分析》（赵凤燕，王艳朋，武梅梅，贺林峰）已发表于《文博》（2024年第2期）。

