



CT射线成像技术在文物深度解析中的多维应用

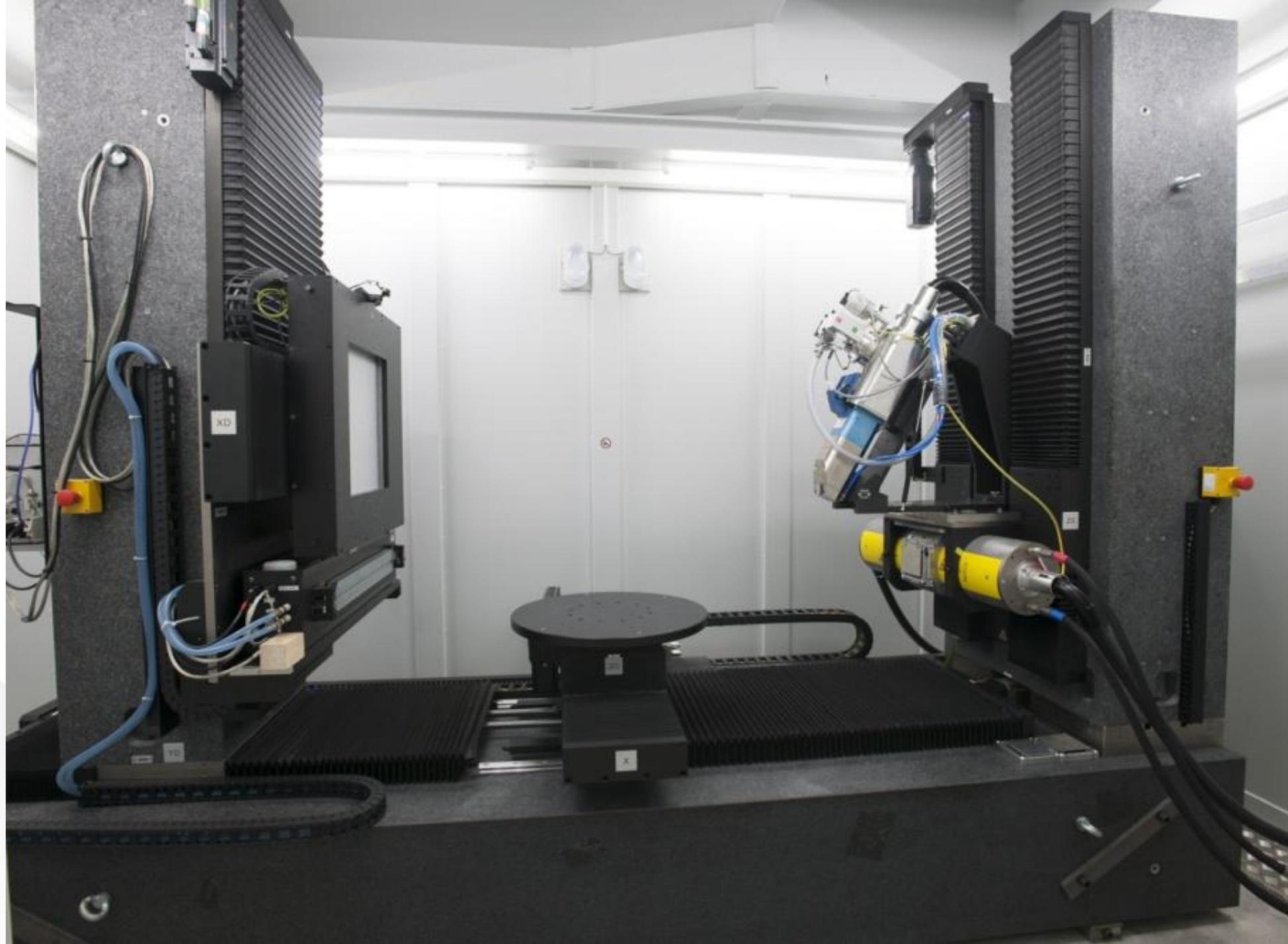


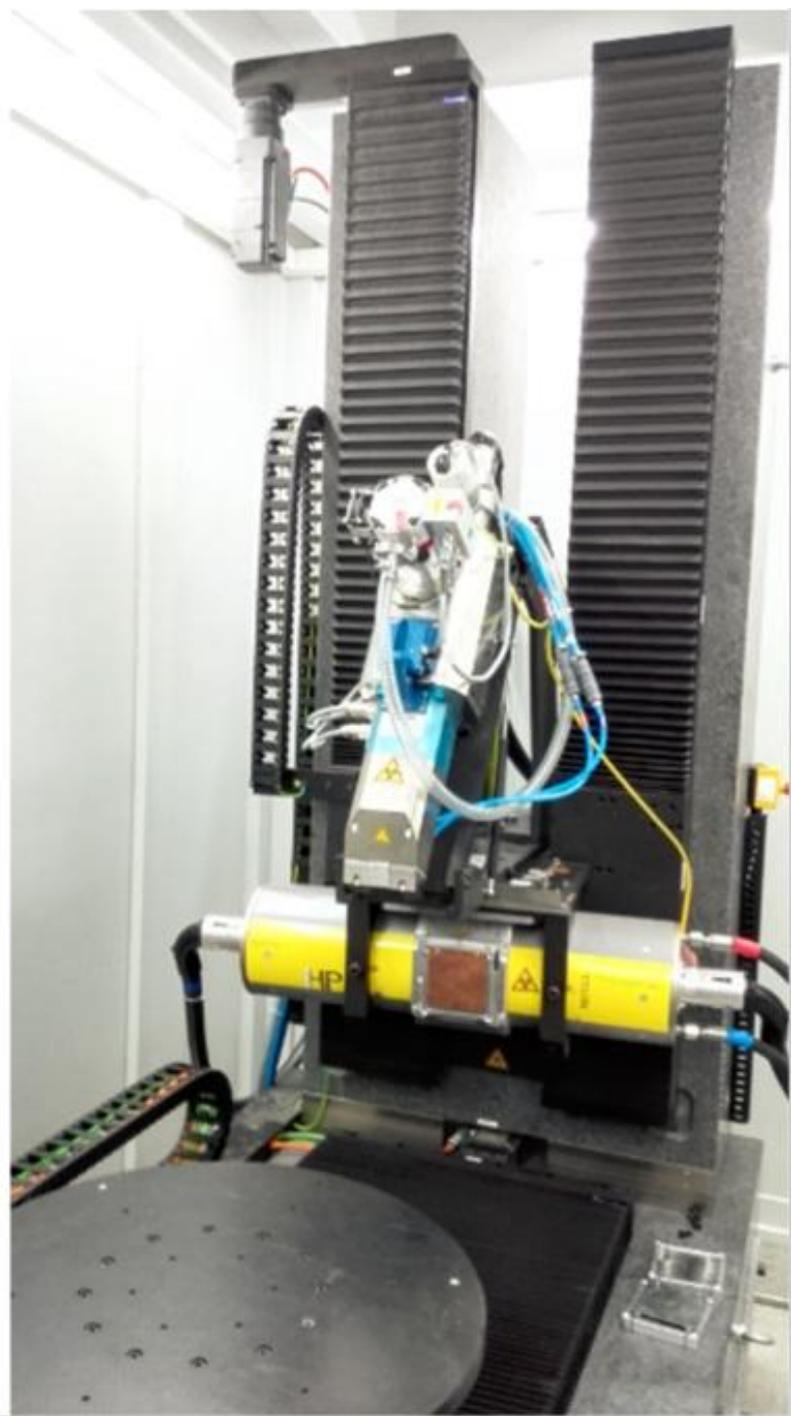
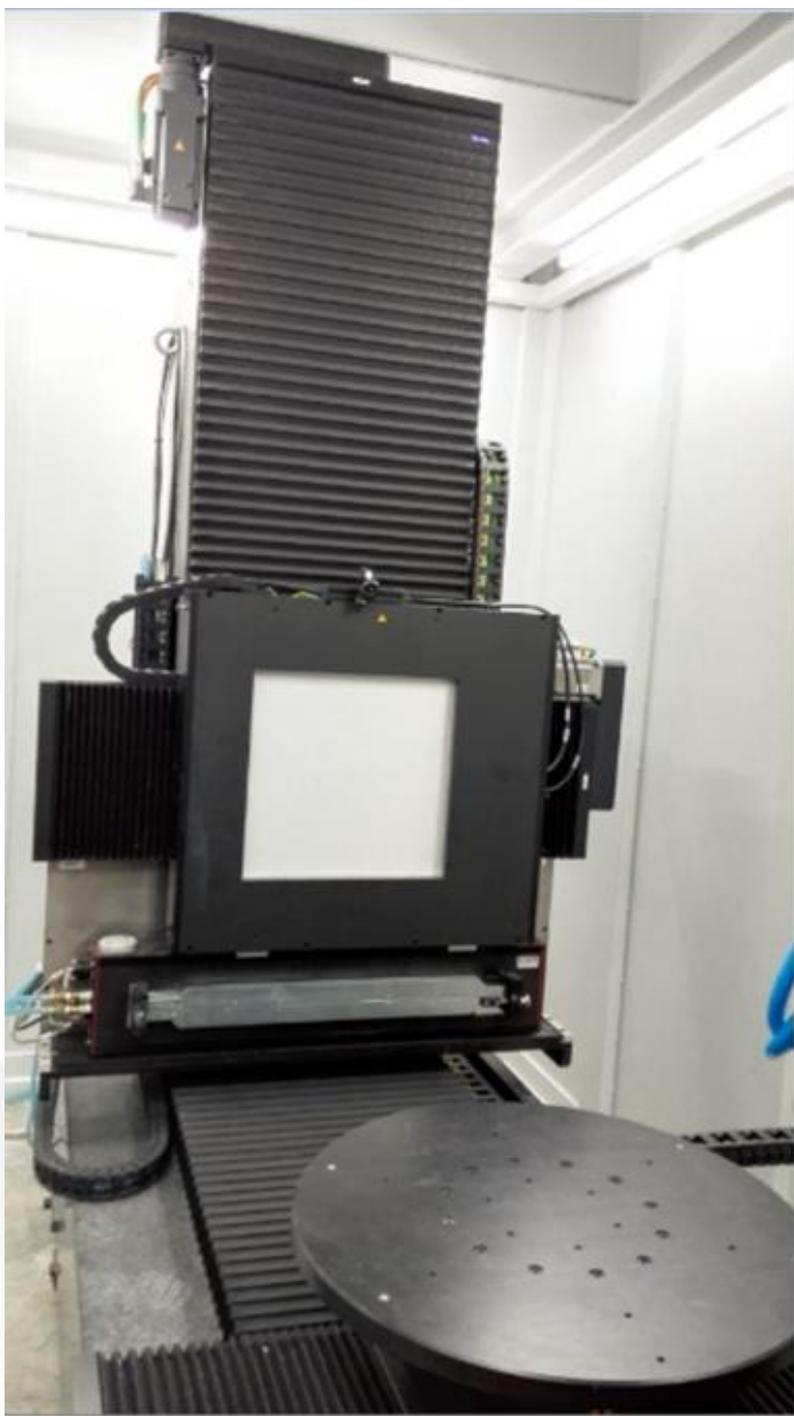
 上海博物馆 文物保护科技中心

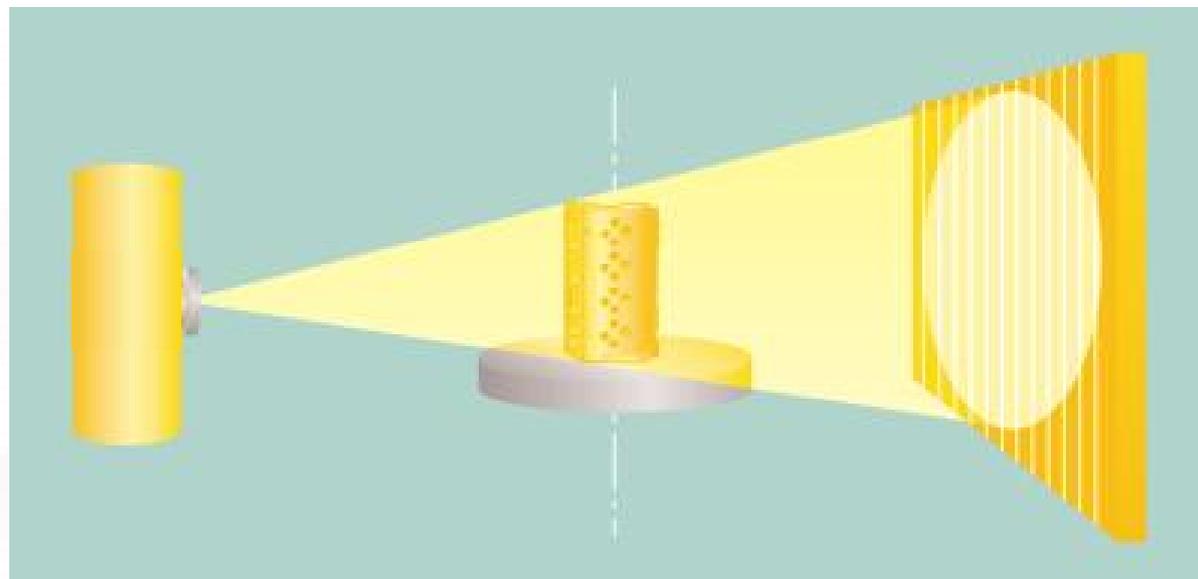
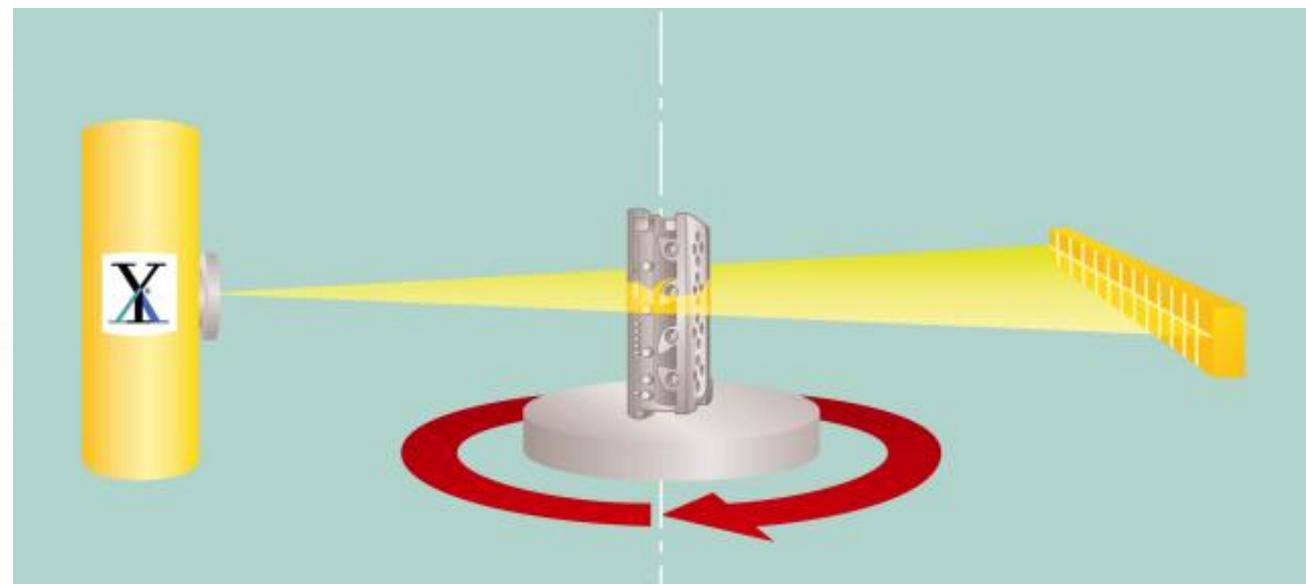
丁忠明

2025.07.25









X-ray CT扫描方式示意图

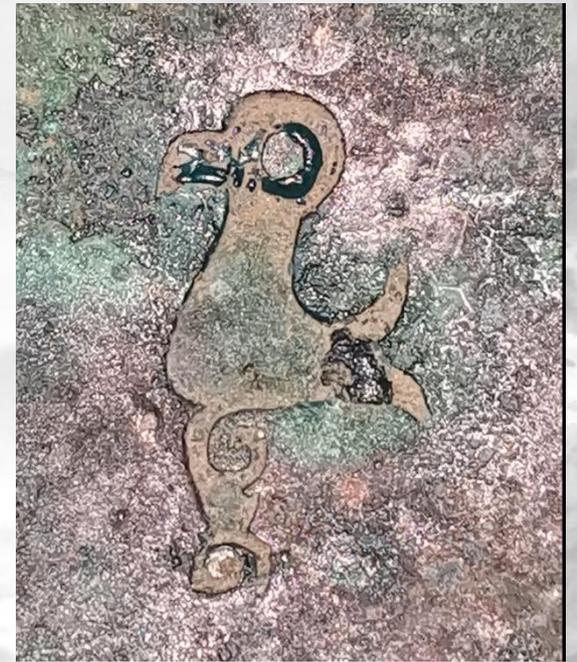
特 性

- 无损性
- 直观性
- 准确性

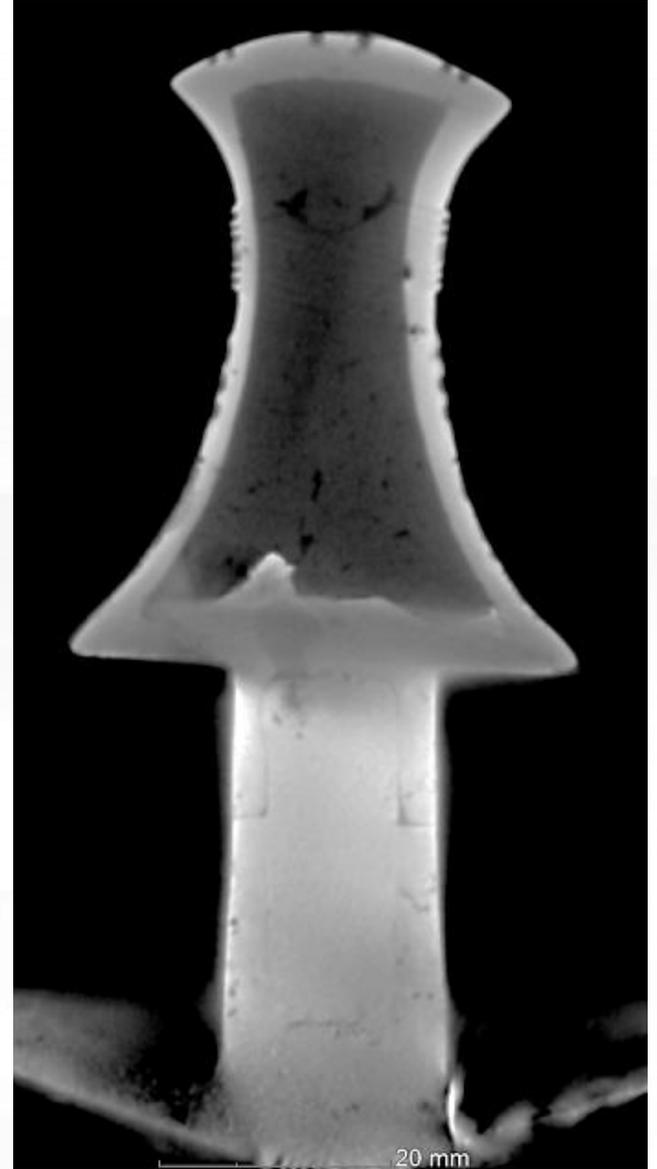
应用

- 一、制作工艺
- 二、病害诊断
- 三、文物保护
- 四、价值认知
- 五、真伪鉴别
- 六、传承利用
-

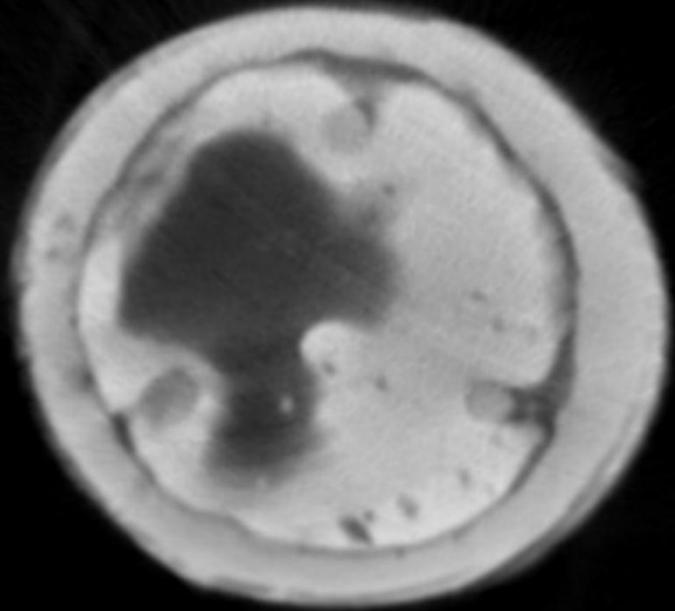
► 一、制作工艺



内部结构及原因

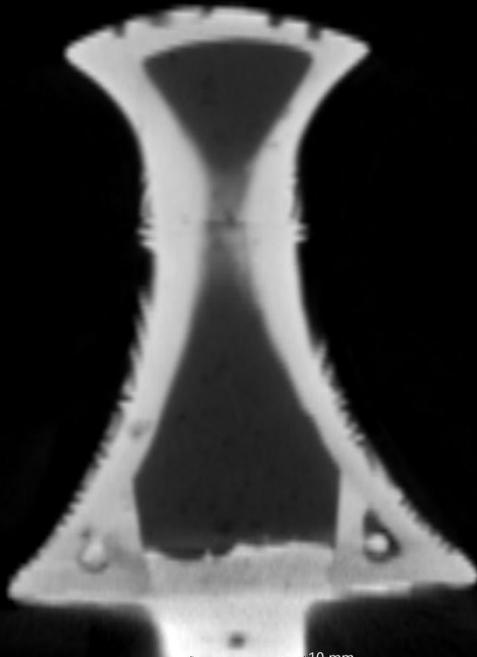


场景 坐标系
97.33 mm



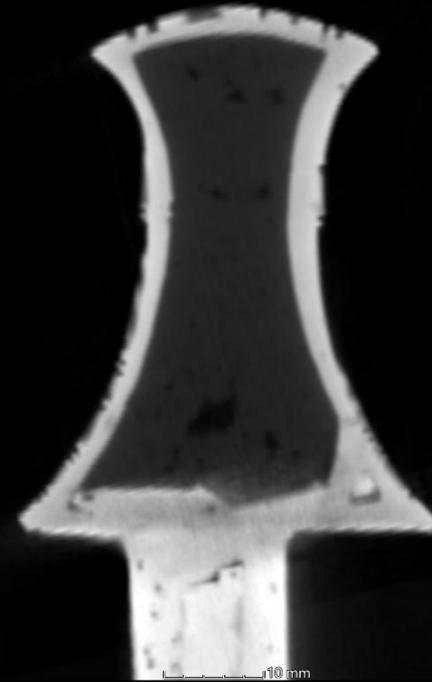
7 mm

场景 坐标系
-93.74 mm



10 mm

上 1 场景 坐标系
-34.15 mm

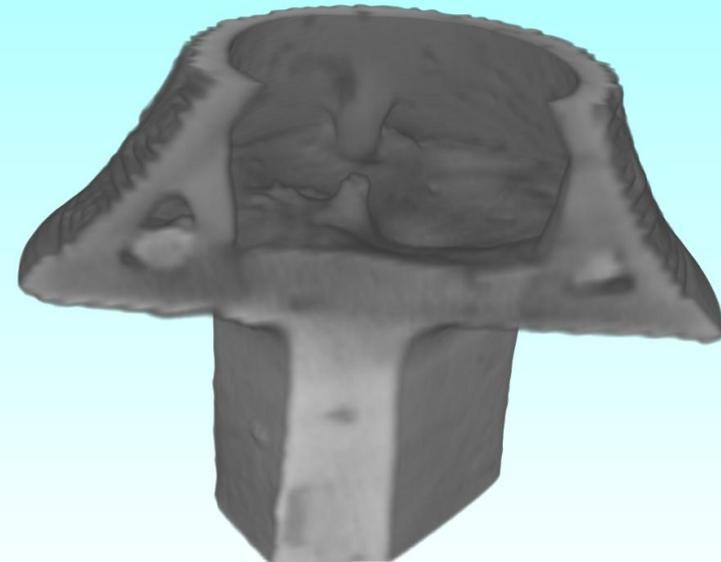


10 mm

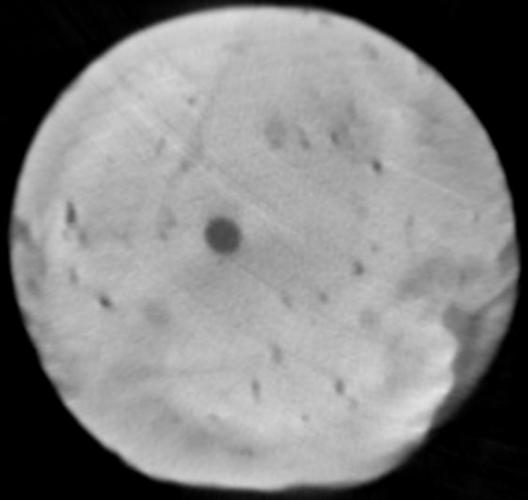
右 1

306%
前

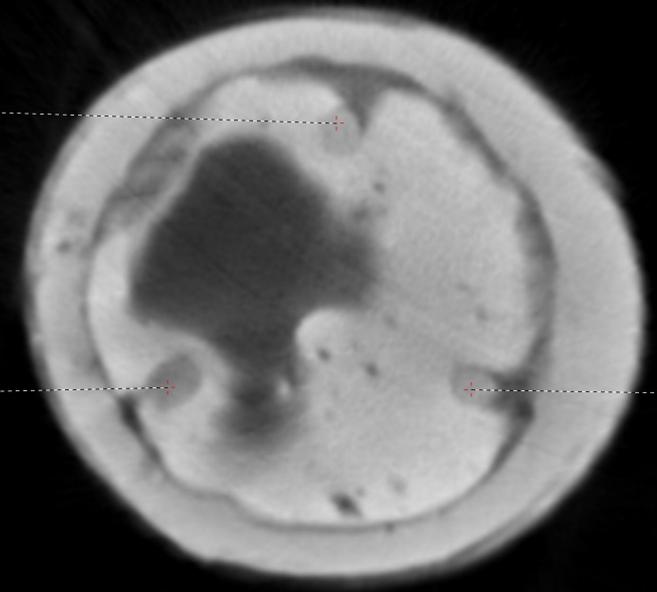
187%
3D



212%



8 mm

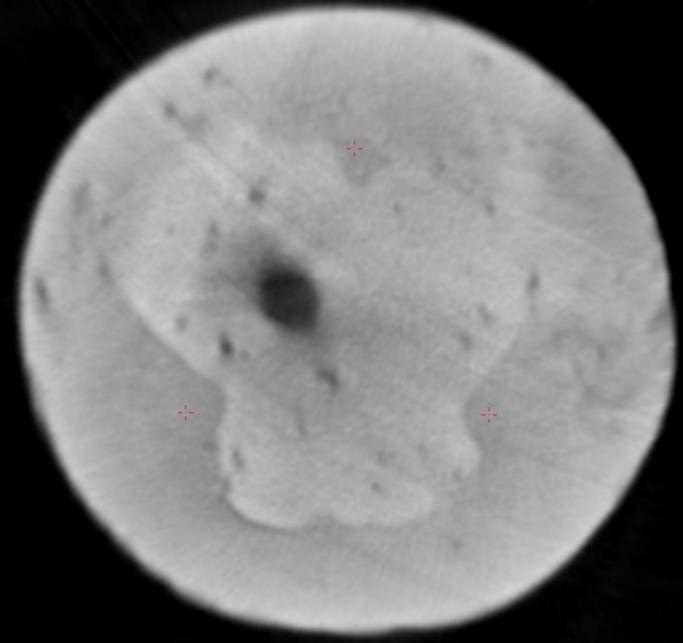


铸接销3

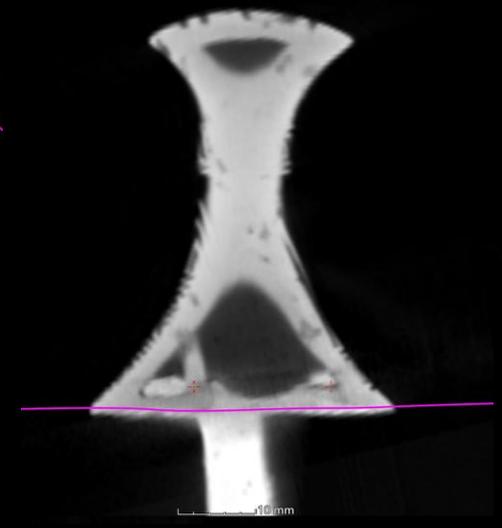
铸接销1

铸接销2

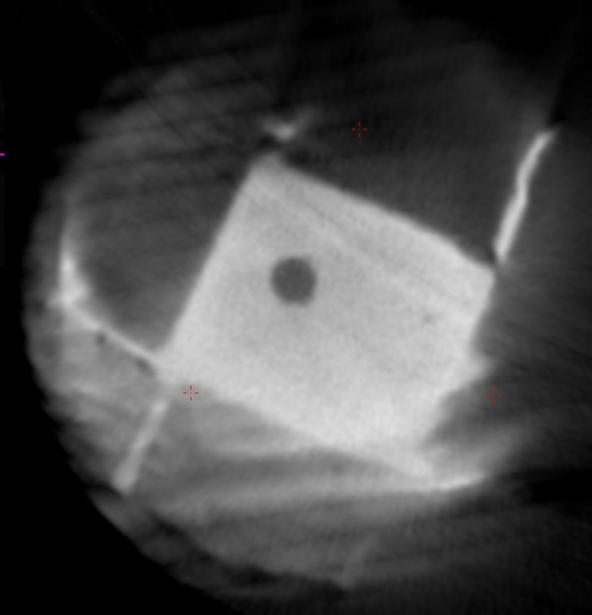
8 mm



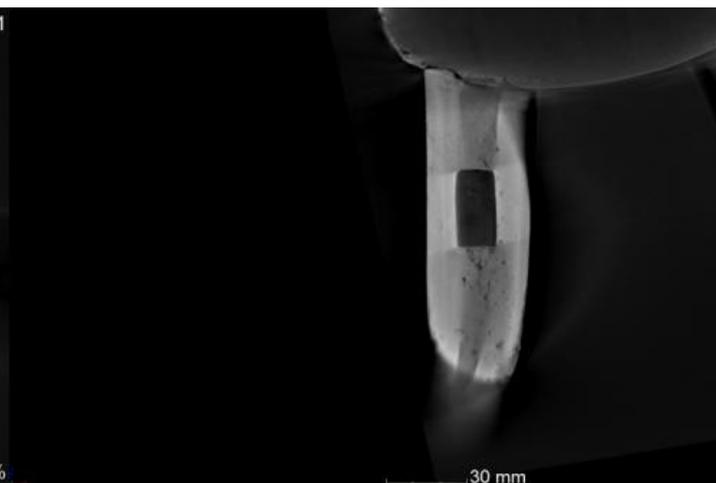
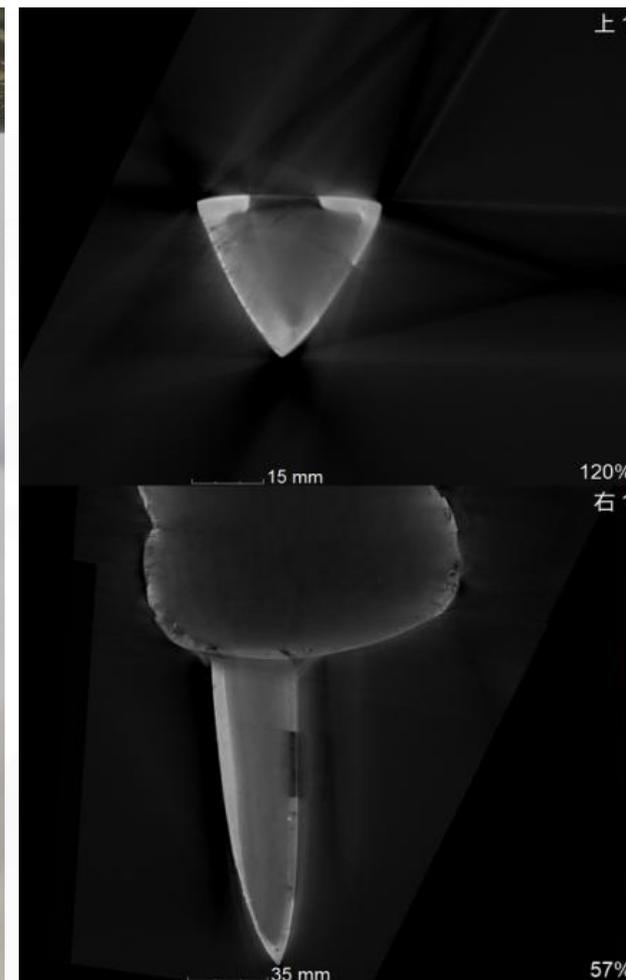
8 mm



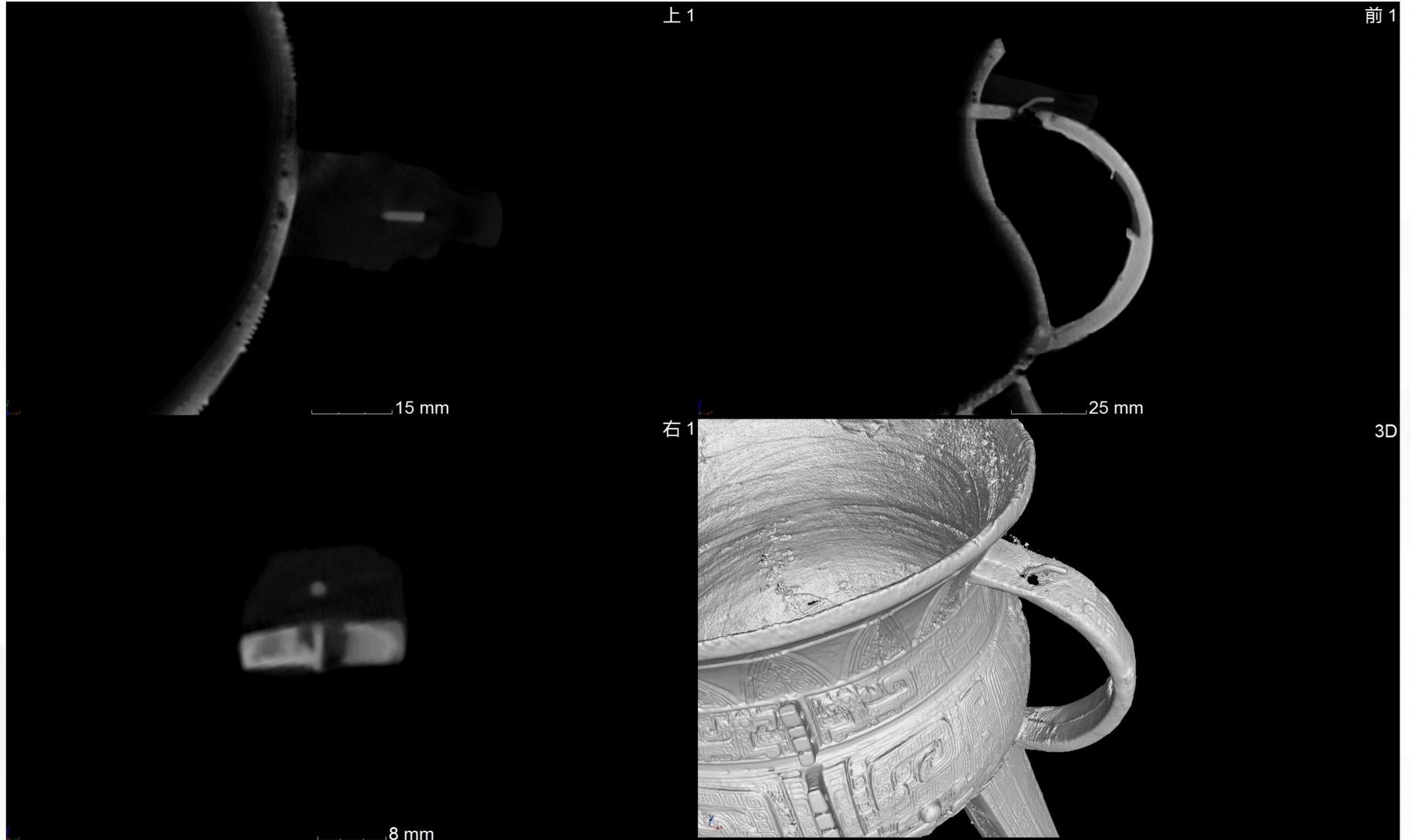
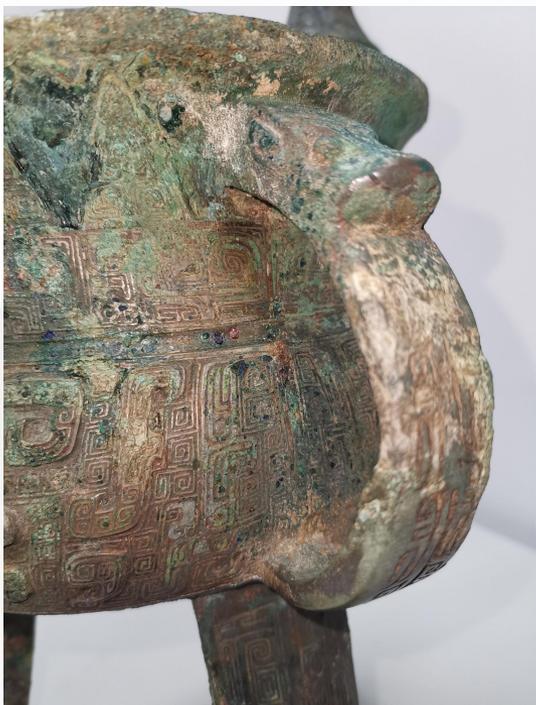
10 mm



8 mm



修补信息



一、制作工艺小结

1. 柱帽的分铸及其铸接结构；
2. 柱帽内的泥盲芯；
3. 柱内的金属盲芯及自带芯撑；
4. 足内的泥盲芯及其自带芯撑；
5. 罍鍑上的修复痕迹及其后配的首头；
6. 分铸的原因？
7. 柱帽和柱材料不同的原因？
8. 当时的审美，社会背景？

➤ 二、文物保护 (病害诊断)



独一无二的吴王僚剑

吴王僚剑

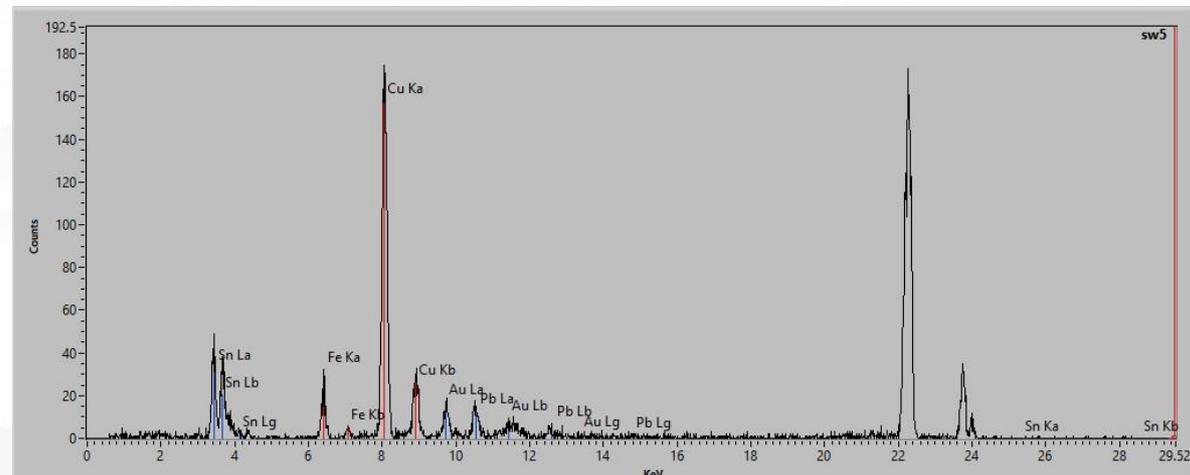
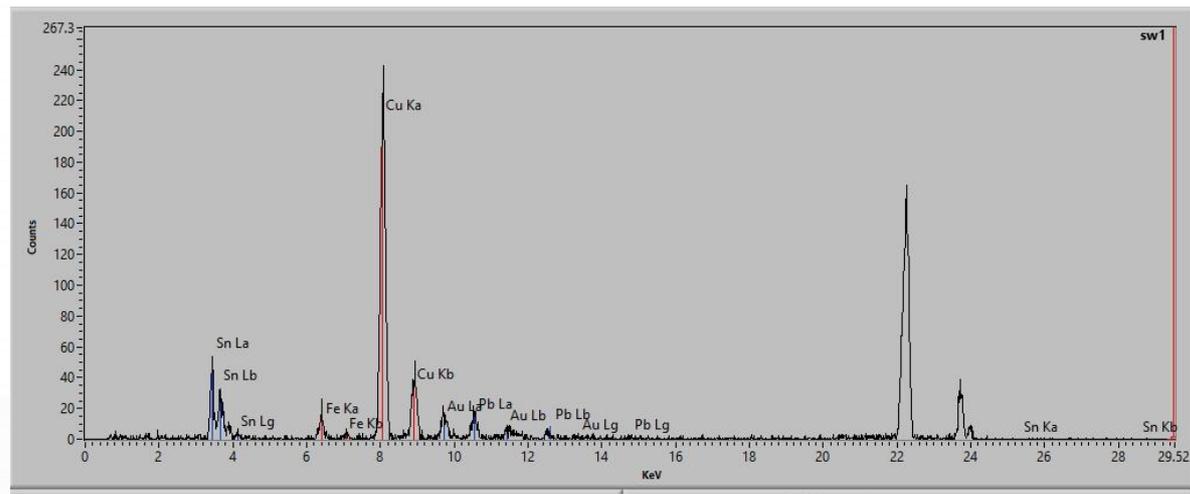


2008年 无锡博物院征集，春秋晚期

吴王僚剑



体视显微镜分析



吴王僚剑

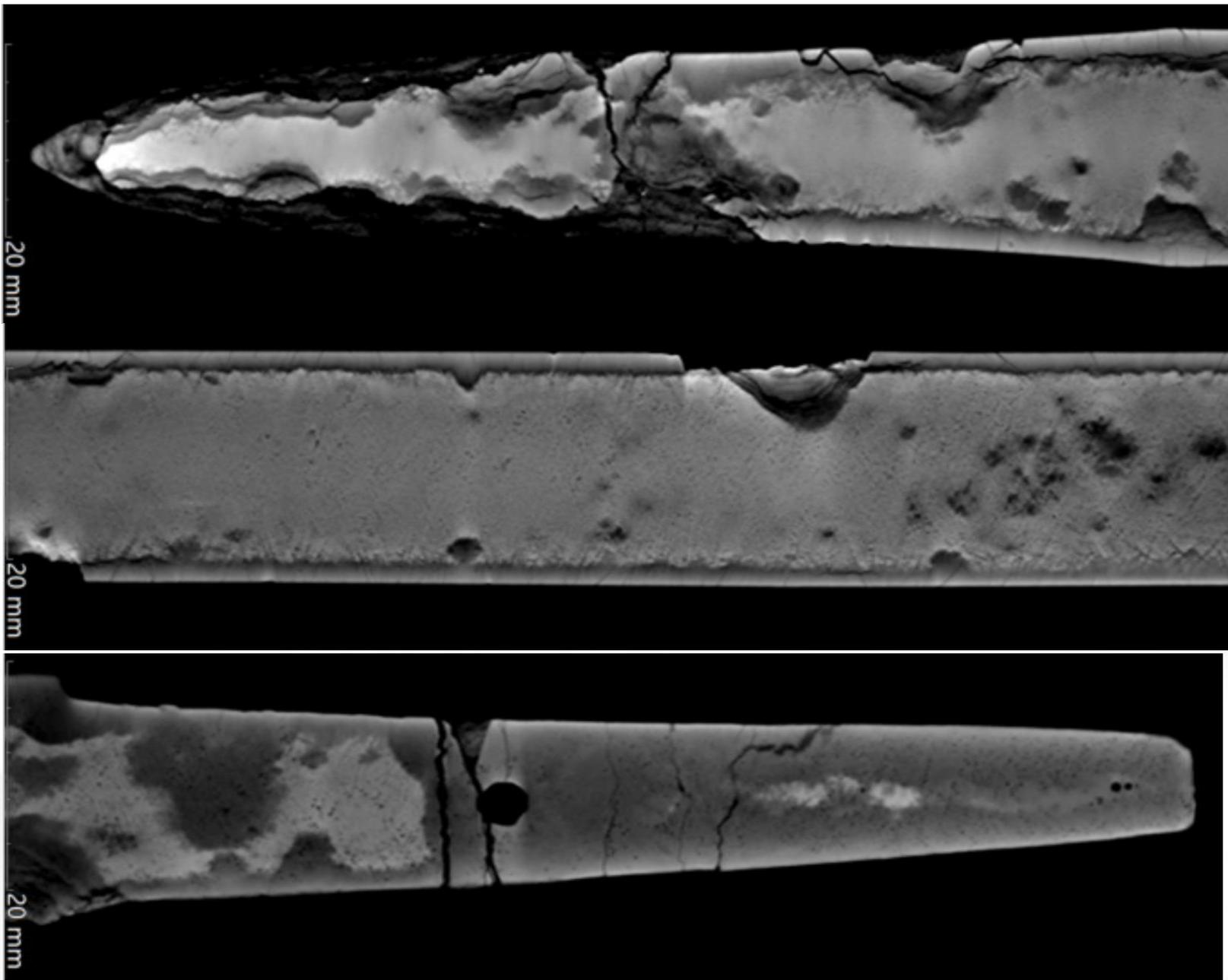
XRF-XRD 联用分析

吴王僚剑



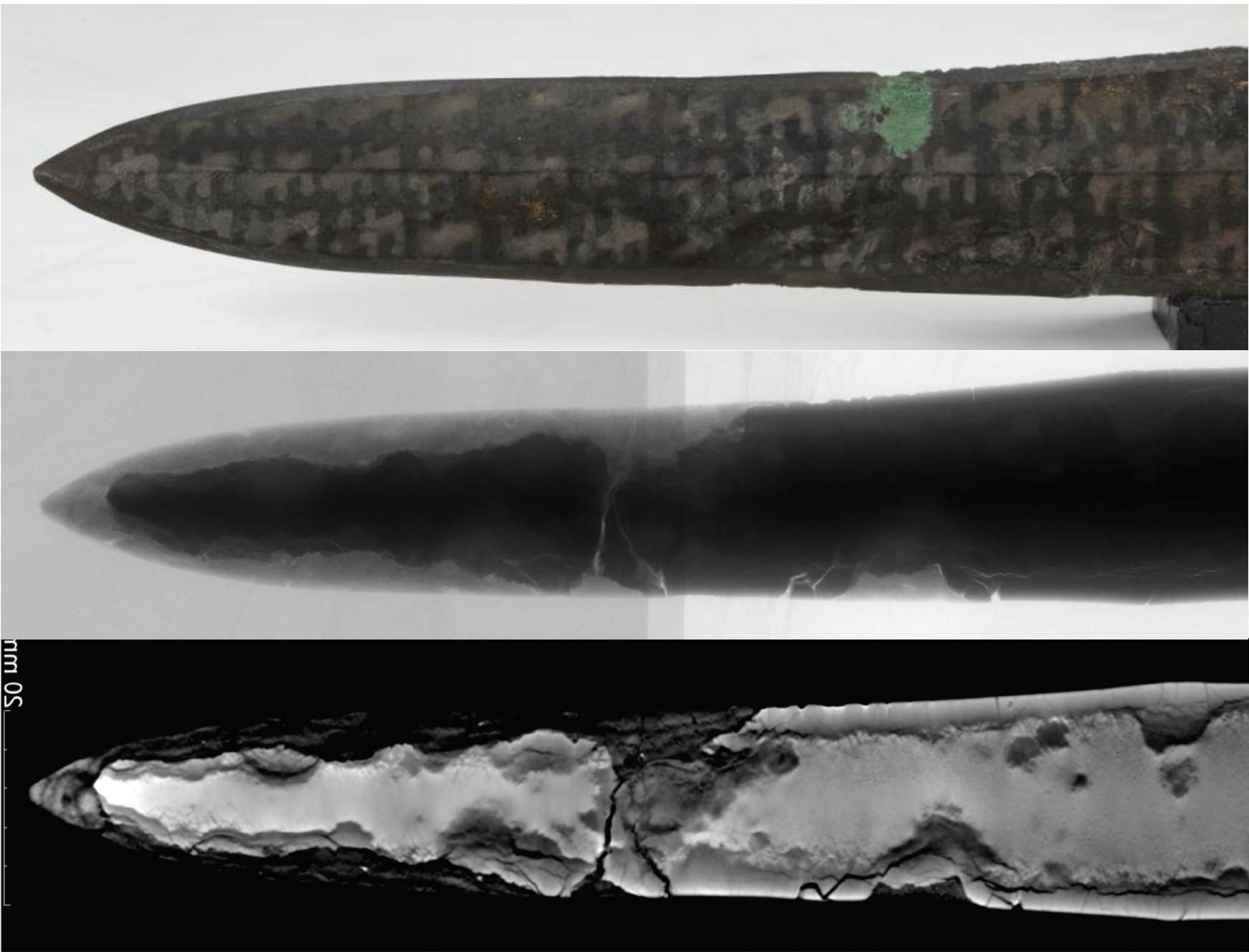
X射线探伤

吴王僚剑

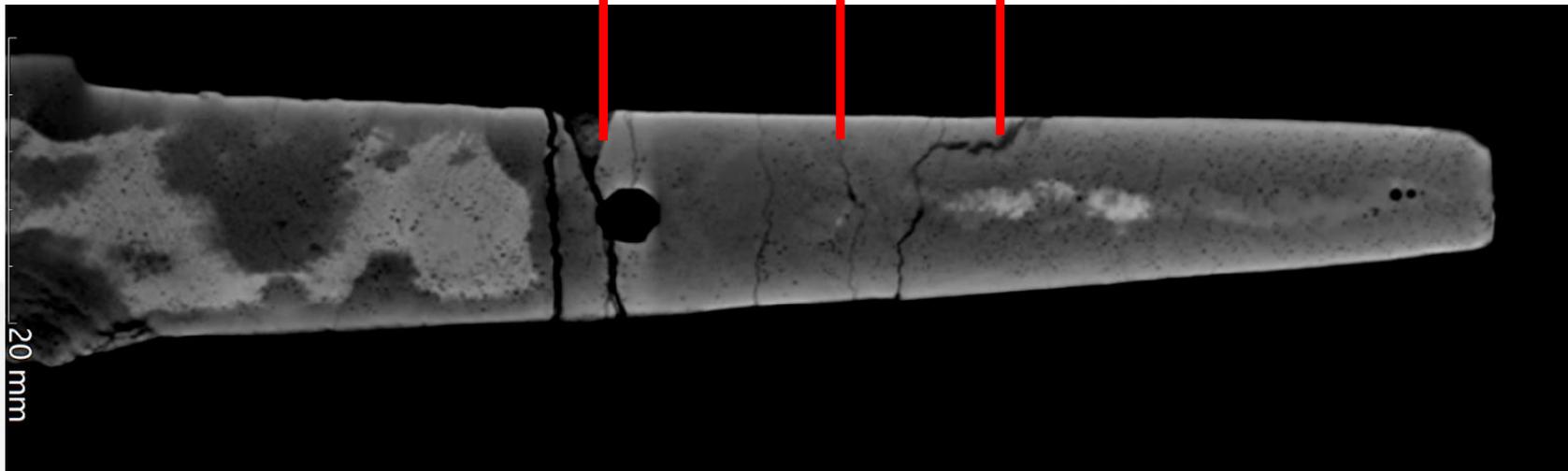
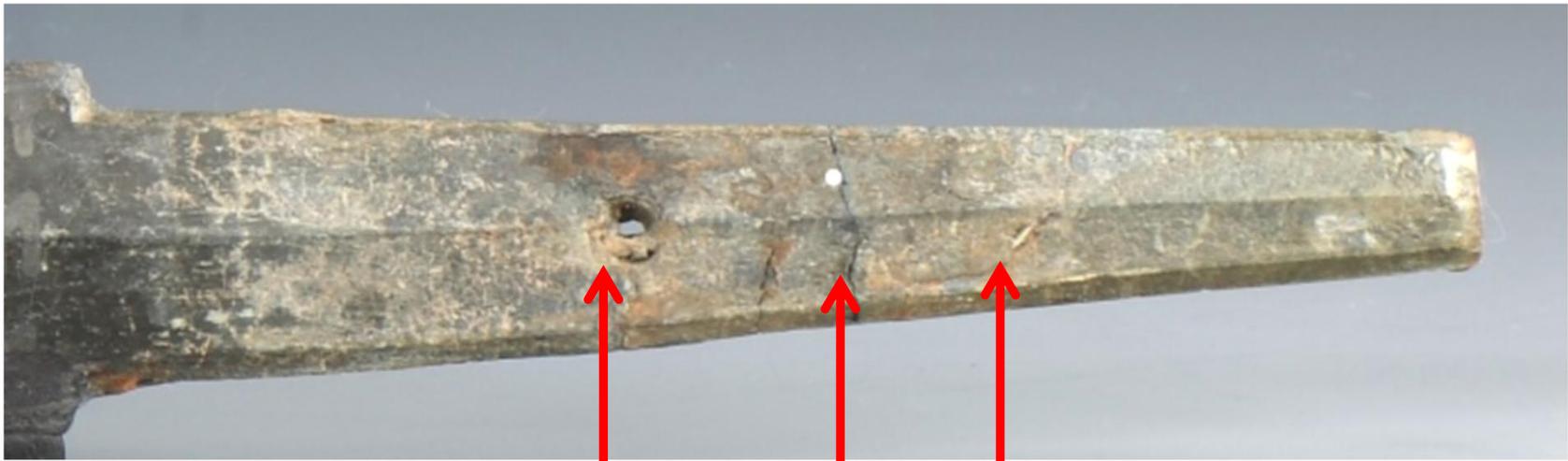


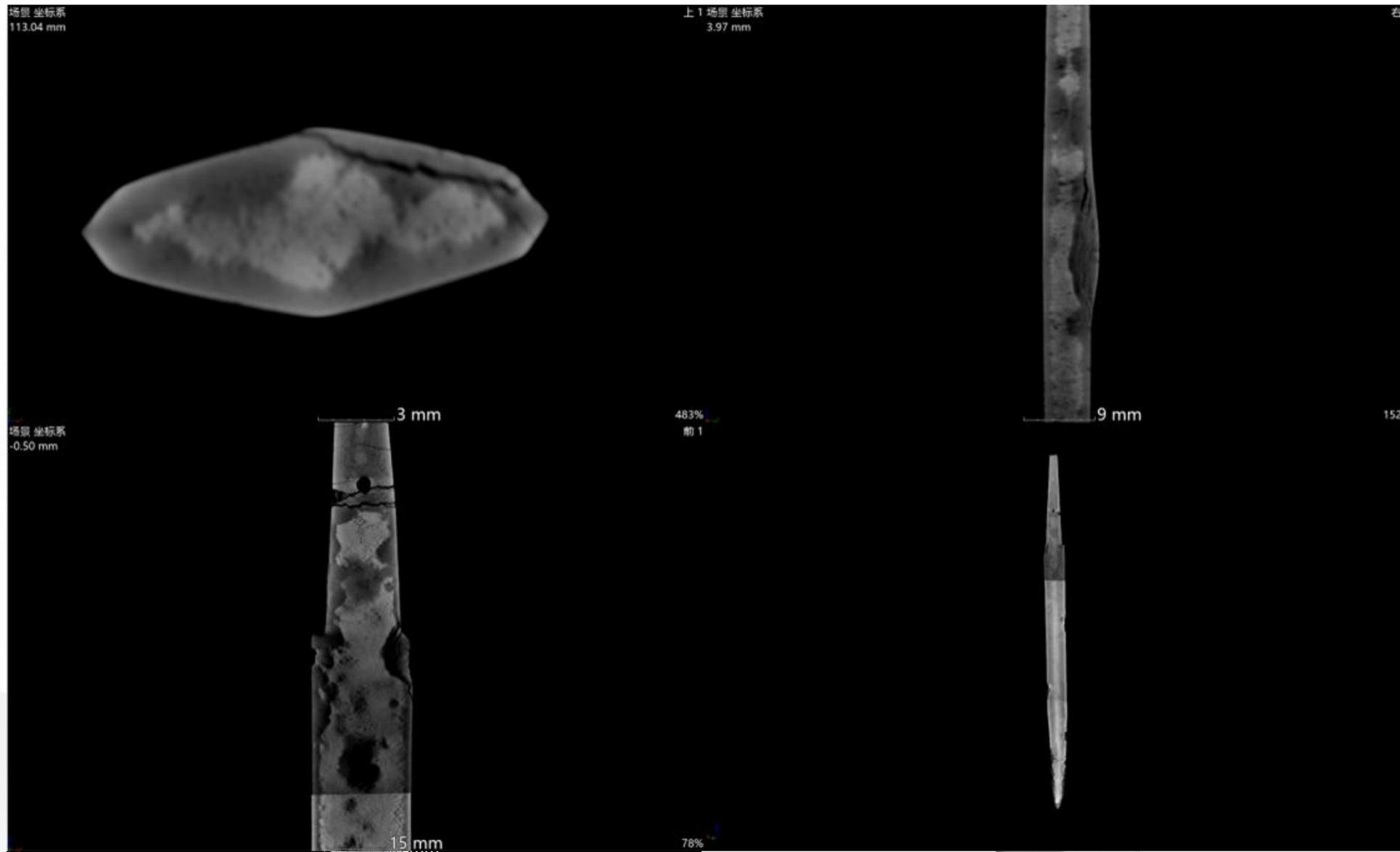
CT成像技术

吴王僚剑



吴王僚剑





吴王僚剑

二、病害诊断后的文物保护

调整修复技术路线，即将原清洗、去锈、补配、作色，改为加固、缓蚀保护和封护的修复技术路线。以针管注射丙烯酸树脂（B72）丙酮溶液，对脆弱的空鼓和起翘周边孔隙处，注射或滴注渗透填充加固，确保在修复过程中不伤及文物，达到固结粉状锈，提高锈层与富锡层的连接强度，达到了最小干预、延缓寿命、不改变文物原状的原则。

▶ 三、价值认识
(病害诊断)



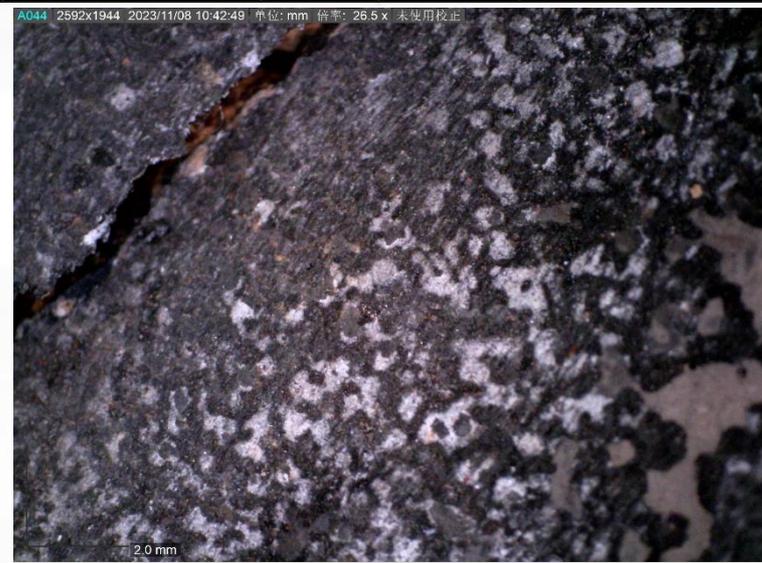
吴越王七星龙凤剑

吴越文化博物馆





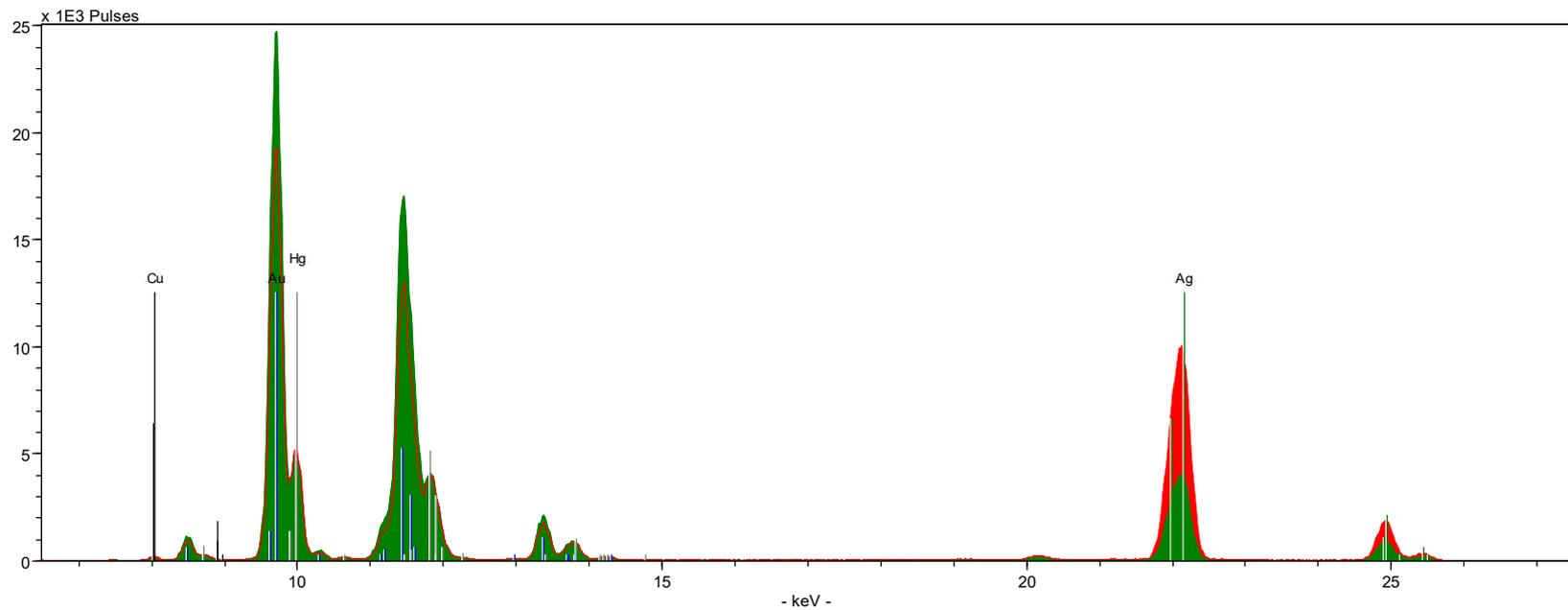
测试部位	Ag	Au	Hg	Cu	Sn	Fe	Pb
剑格处金属	93.2 7	1.80	-	1.27	-	3.39	0.29
银色装饰片	57.9 4	1.73	-	0.22	-	39.91	0.20
金色装饰片	29.1 1	58.34	4.41	0.64	0.35	-	-



1.七星龙凤剑剑首

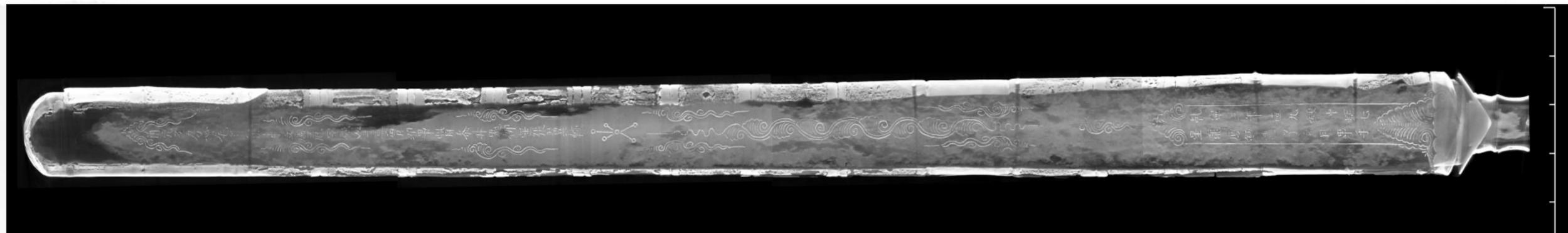
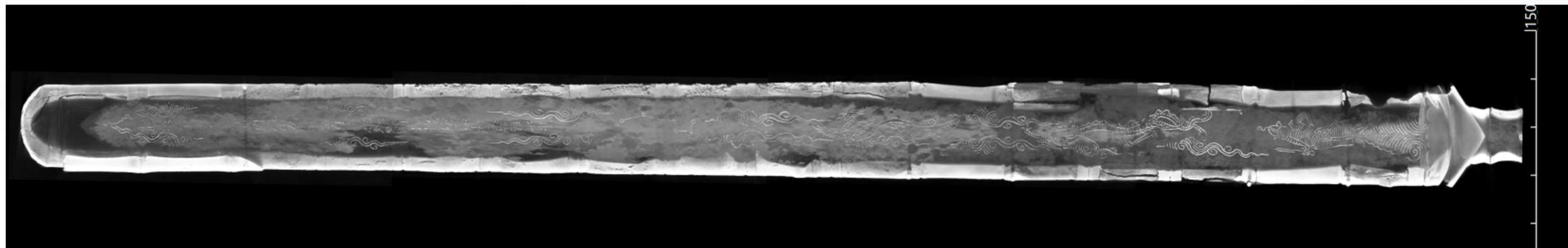


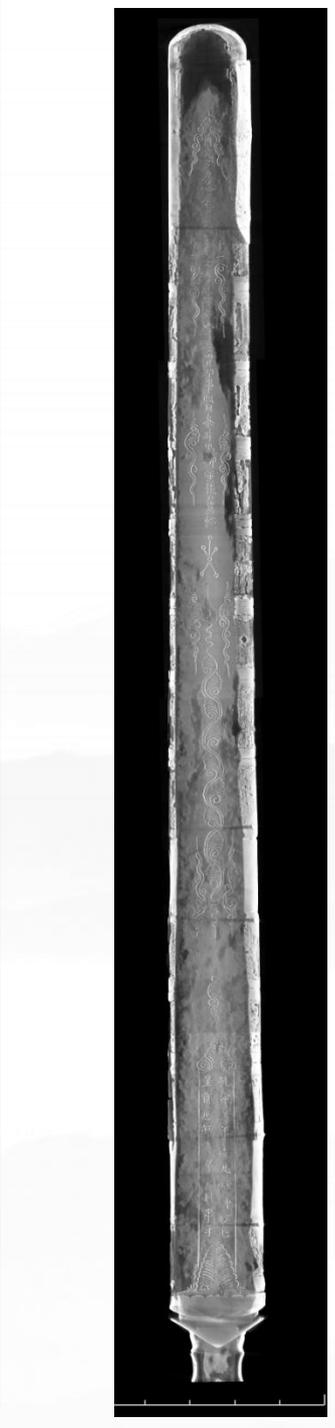
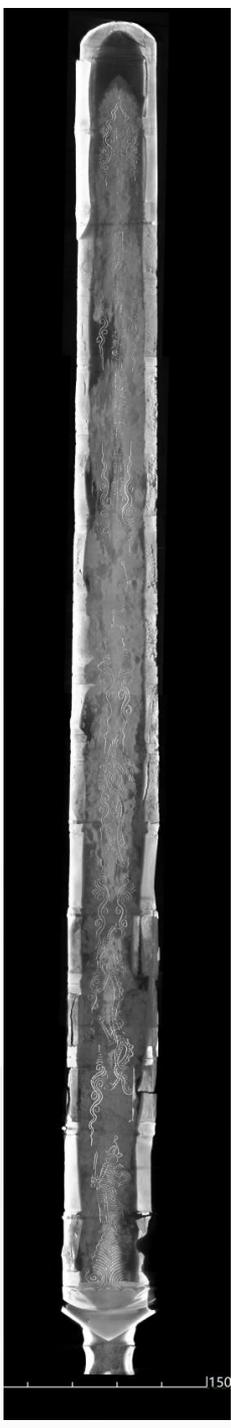
测试部位	Ag	Au	Hg	Cu	Sn	Fe	Pb
金色部位	27.0 3	60.5 5	8.44	-	0.4 5	-	-
剑首侧面 银色部位	53.0 6	34.1 6	7.84	0.3 6	-	-	-





1.七星龙凤剑





A 面

角、亢、氏、房、心、尾、箕；斗、牛、女、虚、危、室、壁、
奎、娄、胃、昴、毕、觜、参；井、鬼、柳、星、张、翼、轸。



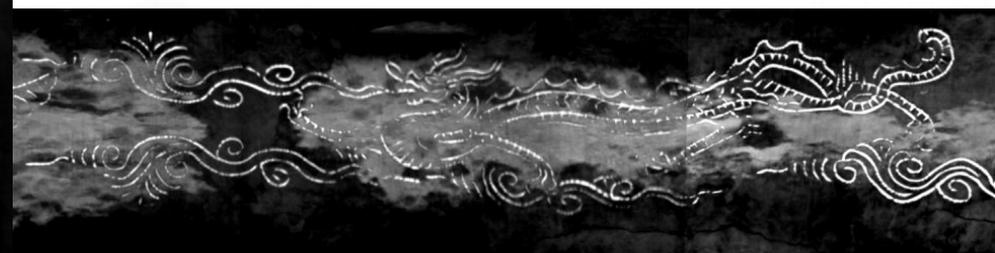
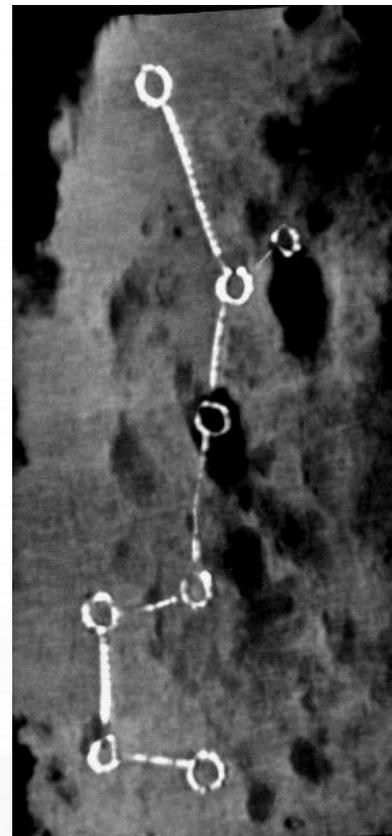
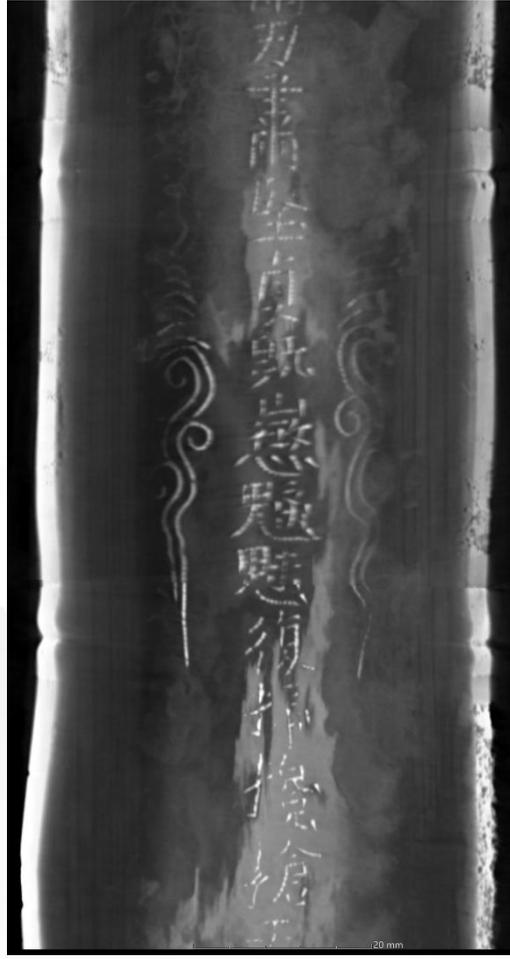
正面

乾宁三年造九炼神钢七
星龙凤剑建子之月毕手

乾宁三年造九炼神钢七
星龙凤剑建子之月毕手

背面

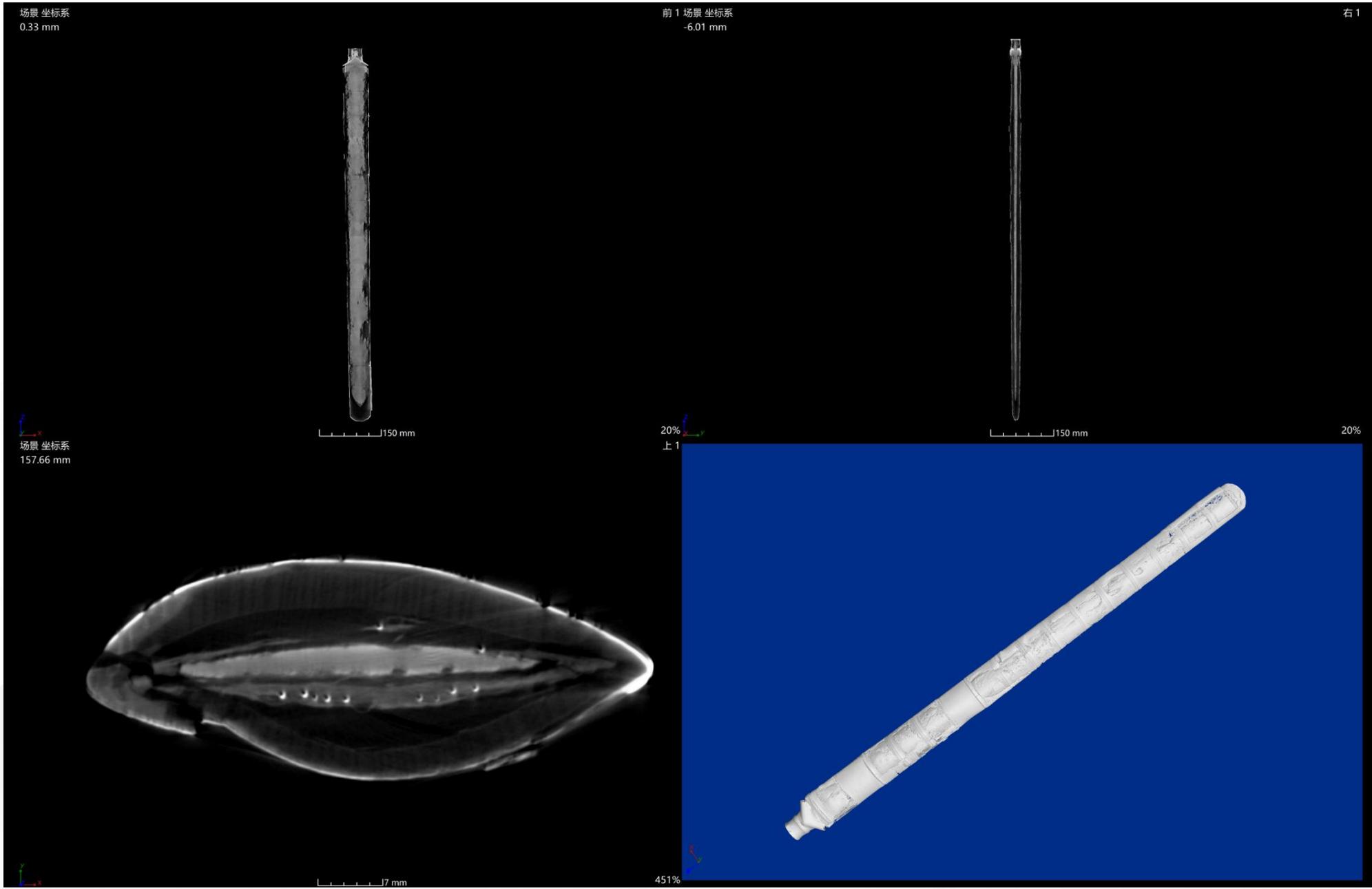
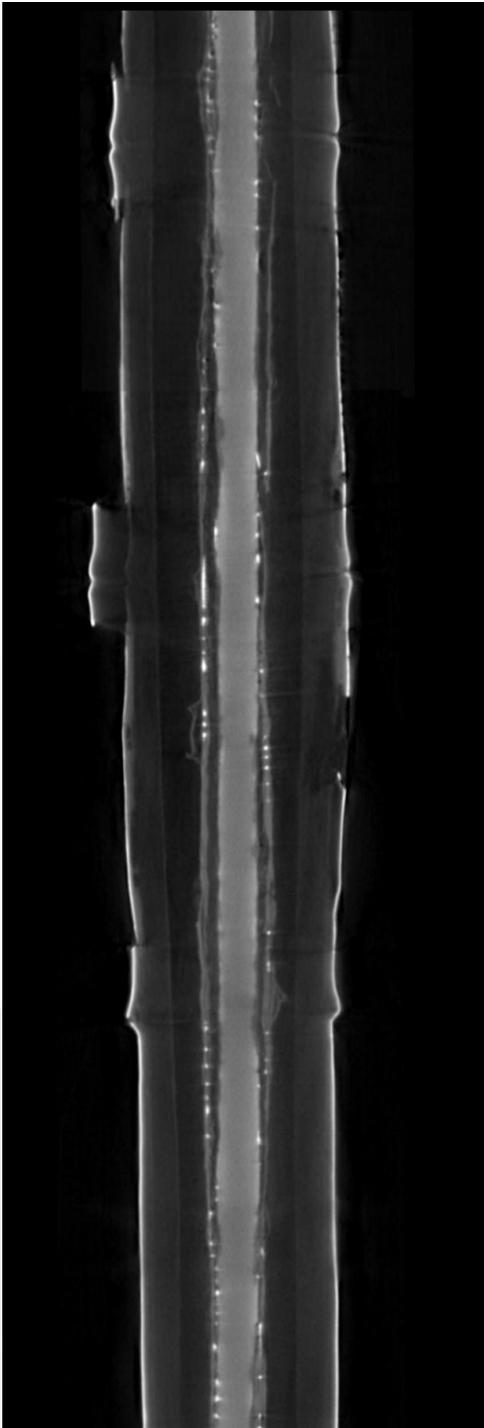
龙泉之形，金石之精。匣开风雨，刃肃坚贞。
既惩魑魅，复扫搀抢。天地长久，无难不平。



角、亢、氏、房、心、尾、箕、斗、牛、女、虚、危、室、壁、
奎、娄、胃、卯、毕、觜、参、井、鬼、柳、星、张、翼、轸。
乾宁三年，造九炼坤钢七星龙凤剑，建子之月毕手。

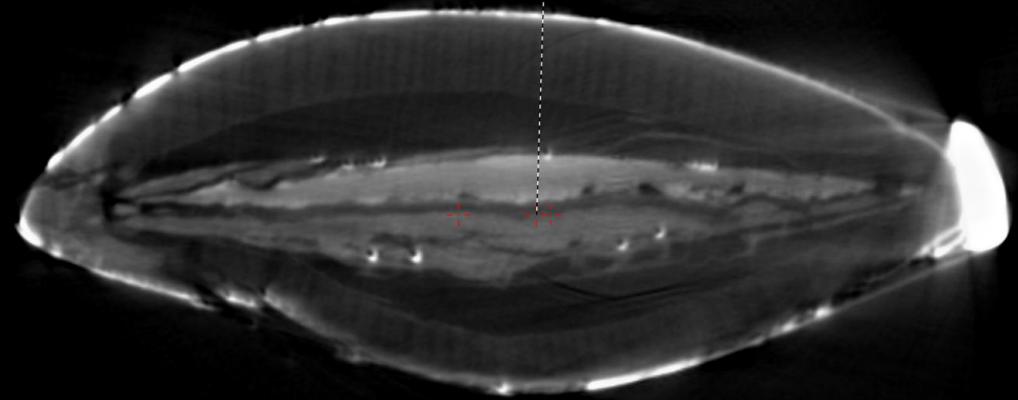
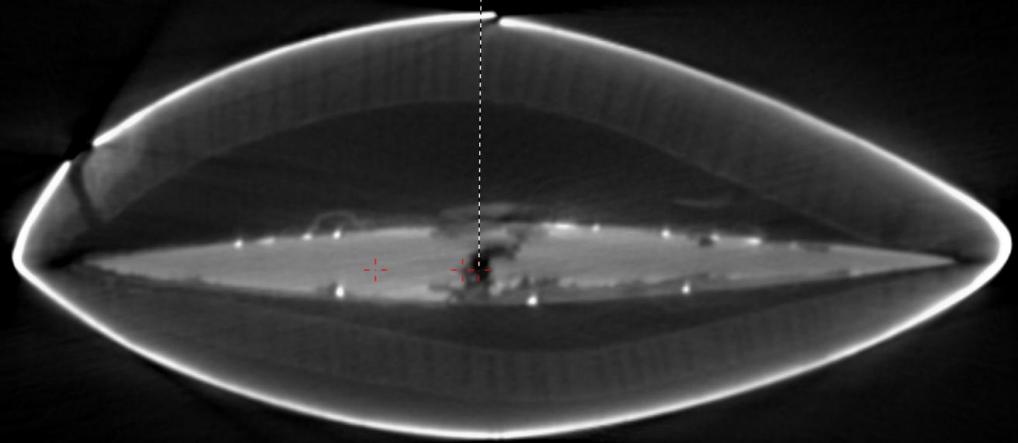


龙泉之形，金石之精。匣闭风雨，刃蓄坚贞。
既惩魑魅，复扫搀抢。天地长久，无难不平。



中间基本断裂

剑一半区域腐蚀

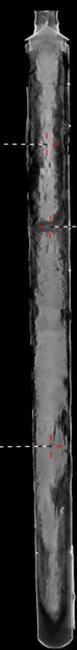
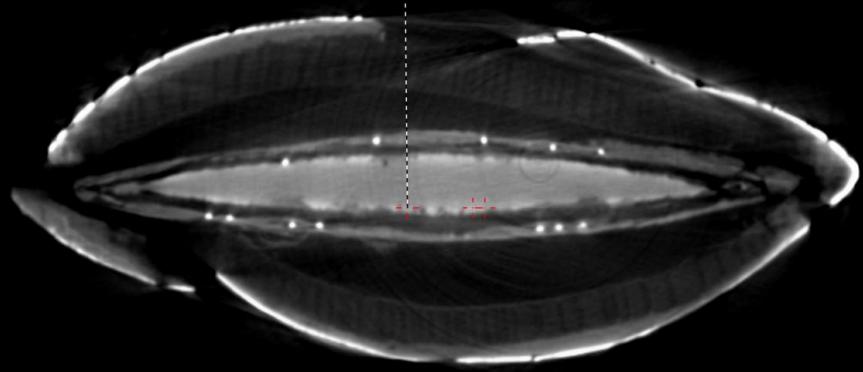


大量错金在脱离基体的腐蚀面上

大量错金在脱离基体的腐蚀面上

剑一半区域腐蚀

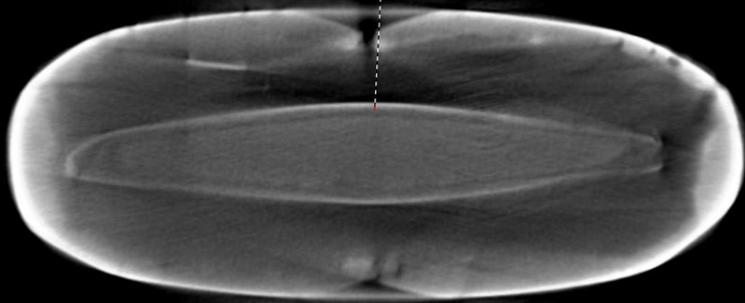
中间基本断裂



场景 坐标系
423.09 mm

上 1 场景 坐标系
-6.02 mm

剑身包边长 (近剑格处) : 21.94 mm

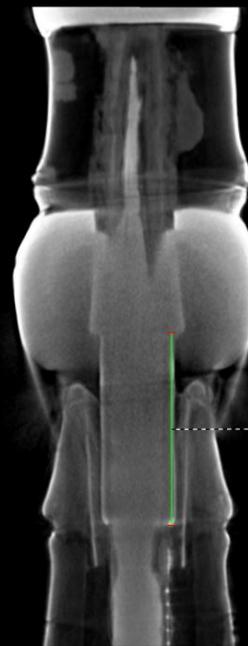


8.5 mm

场景 坐标系
3.87 mm

453%
前 1

剑身包边长 (近剑格处) : 21.94 mm



10 mm

剑身包边长 (近剑格处) : 21.94 mm

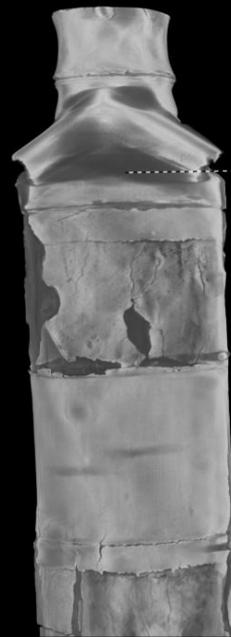


20 mm

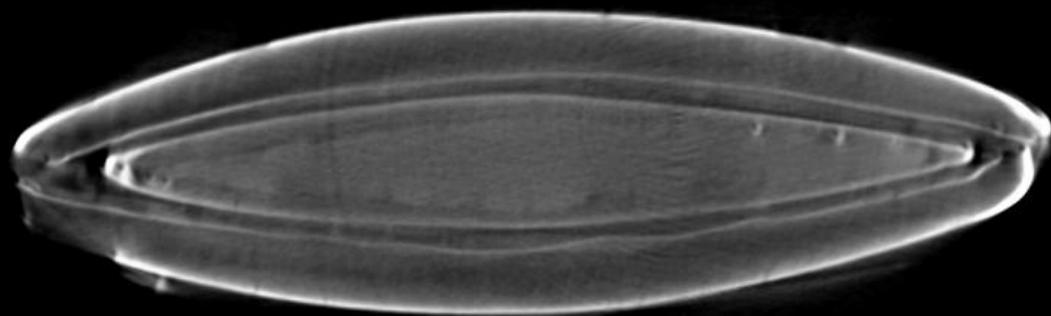


201%

剑身包边长 (近剑格处) : 21.94 mm

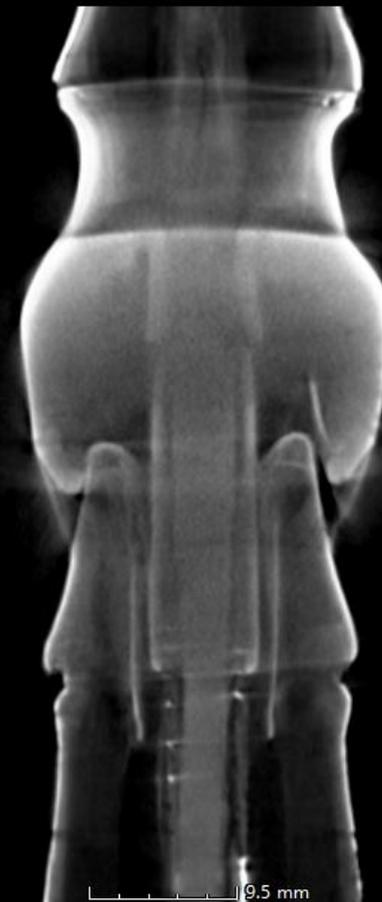


场景 坐标系
411.73 mm



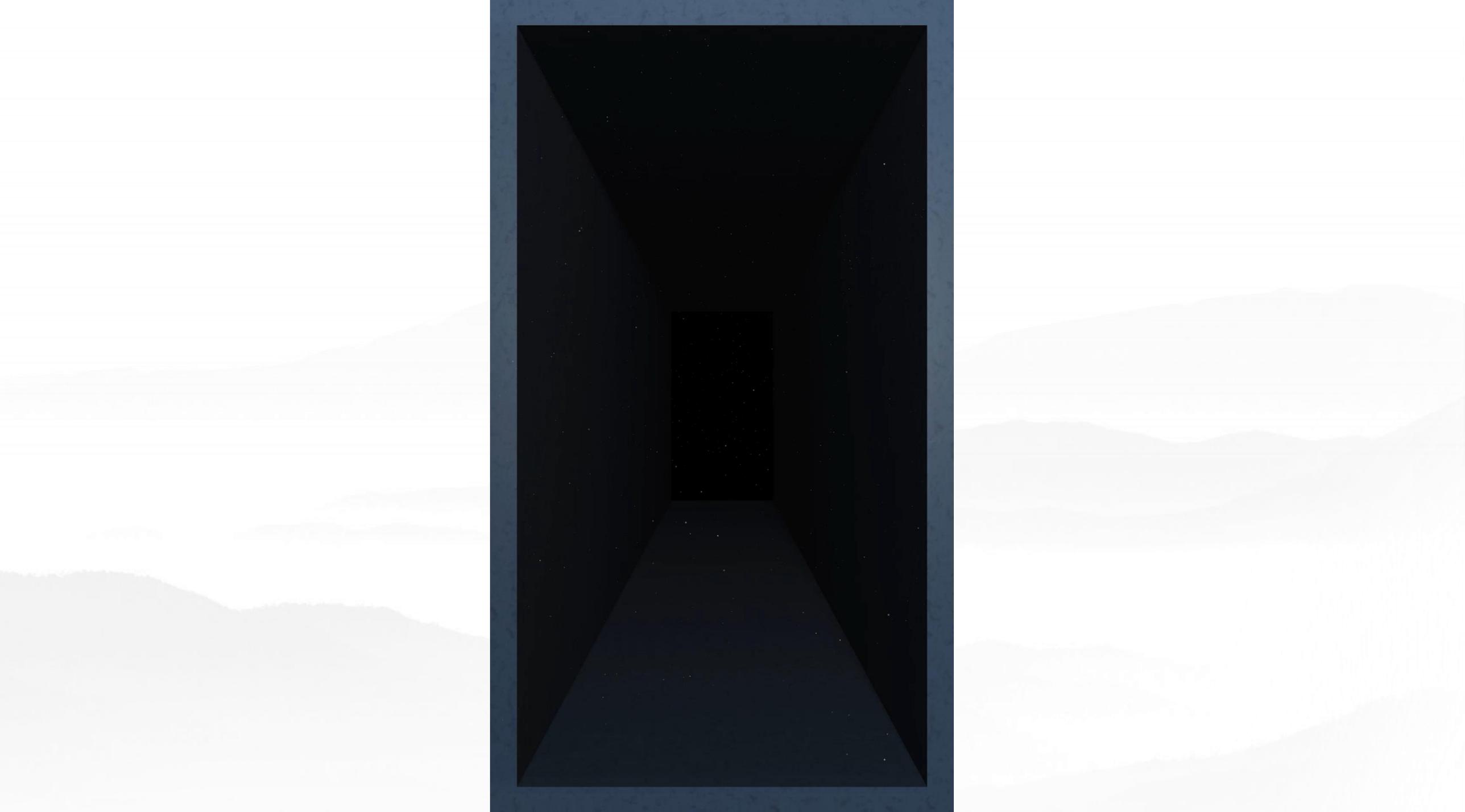
8.5 mm

上 1 场景 坐标系
-18.31 mm



142%

9.5 mm



三、价值认知小结

1. 吴越王钱镠佩剑，制作于896年11月；
2. 此剑是唐昭宗赐予钱镠的宝剑,10月受封镇海、镇东节度使后赐剑。
3. 迄今为止发现的保存最完好、等级最高、制作最精美的晚唐时期铁剑。
4. 以鍍金工艺制作铭文及各种纹饰图案；
5. 剑身铭文内容体现了古代人民对星空的独特认知和划分方式，承载了丰富的文化内涵和象征意义。

▶ 四、真伪鉴别



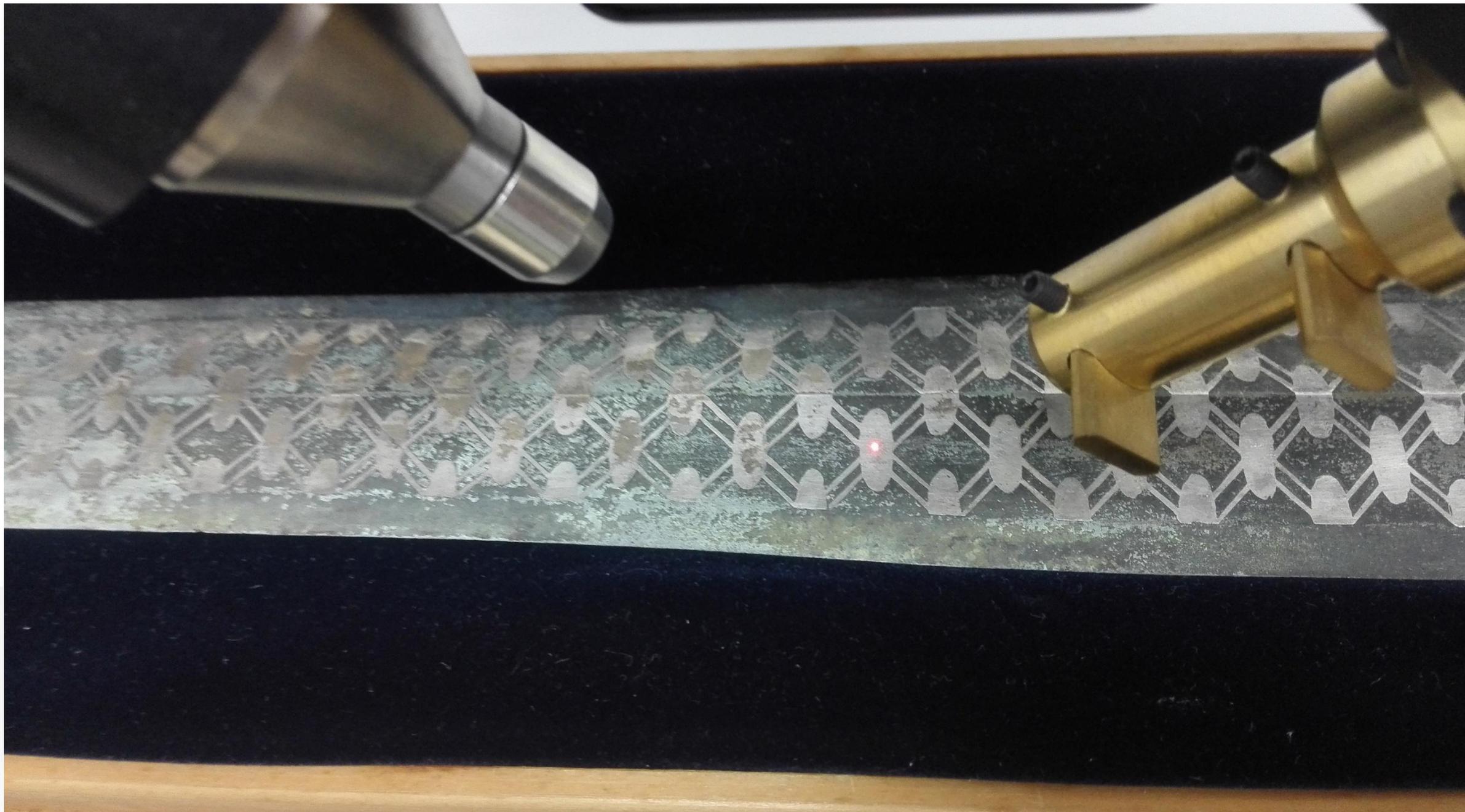
菱形纹剑



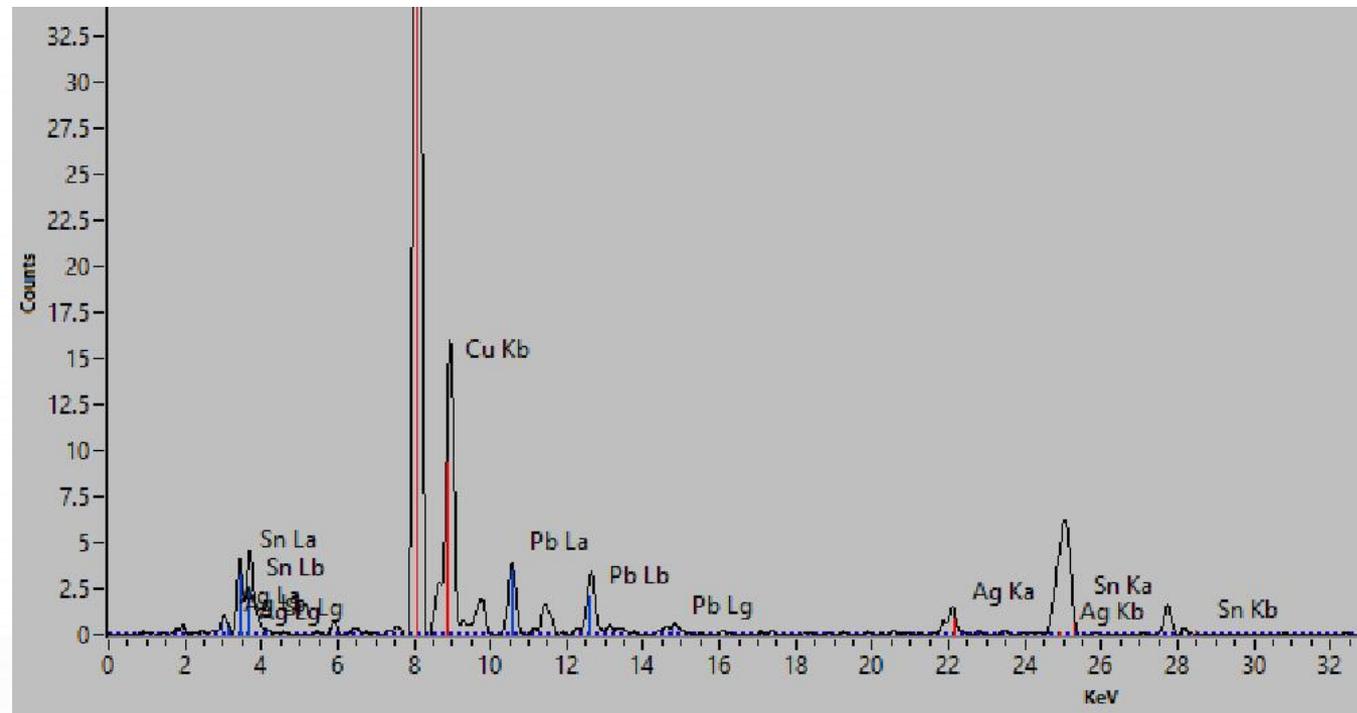
菱
形
纹
剑



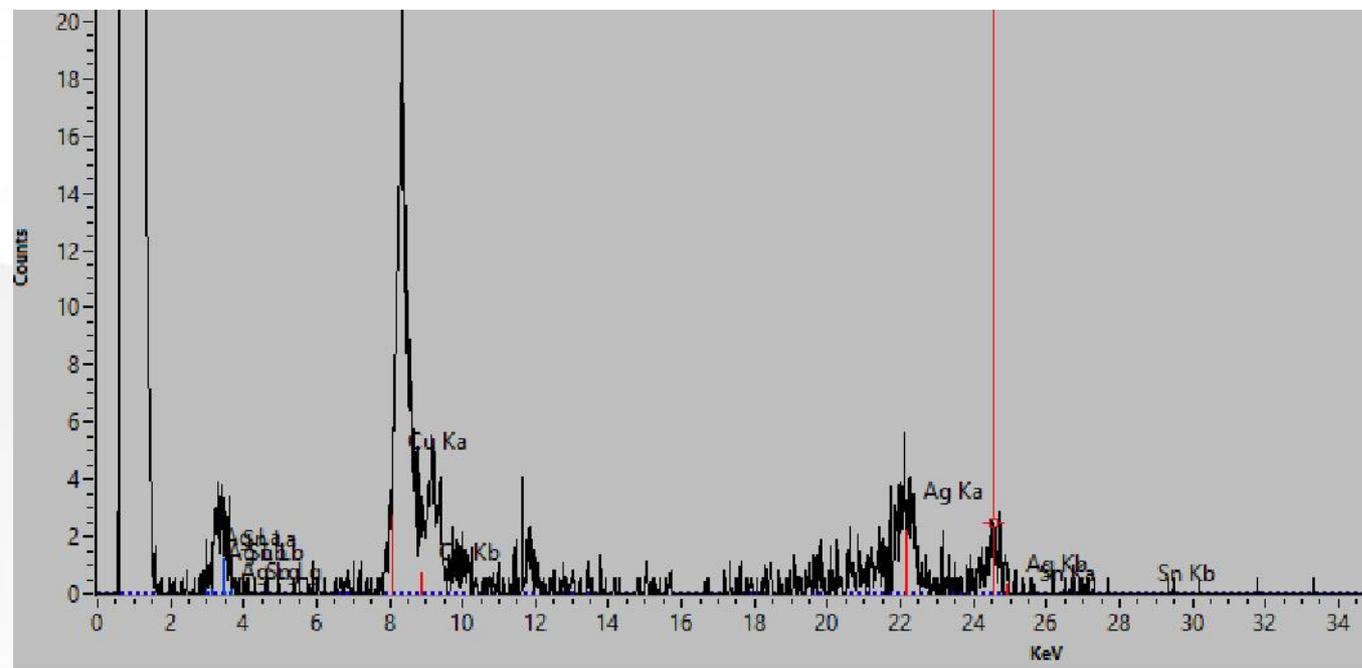
序号	检测部位	XRF成分分析结果					
		Cu	Sn	Ag	Pb	Fe	Zn
1	基体（剑刃）	34.31	52.08	0.84	12.21	—	0.23
2	基体（剑刃）	36.03	48.82	0.96	10.64	0.14	0.25
3	基体（剑茎）	33.28	54.16	1.79	8.49	0.32	0.44
4	基体（剑茎）	23.59	66.56	2.15	5.51	0.35	0.25
	基体平均成分	31.80	55.40	1.43	9.21	0.27	0.29
5	纹饰+基体	60.52	25.53	10.32	3.62	—	0.39
6	纹饰+基体	38.76	33.62	21.73	5.07	0.03	—
7	纹饰+基体	36.53	38.38	15.84	8.07	0.05	0.49
8	纹饰+基体	49.29	32.48	10.80	6.14	0.03	0.44
9	纹饰+基体	38.59	30.94	25.41	4.16	0.06	0.33
	(纹饰+基体) 平均成分	44.6	32.19	16.82	5.41	0.04	0.41
10	剑首	70.54	18.35	0.41	9.99	0.30	0.38
11	剑首	70.23	17.74	0.50	10.82	0.25	0.37
	剑首平均成分	70.38	18.04	0.45	10.41	0.27	0.38
12	焊料	81.16	15.29	0.12	2.57	—	0.16

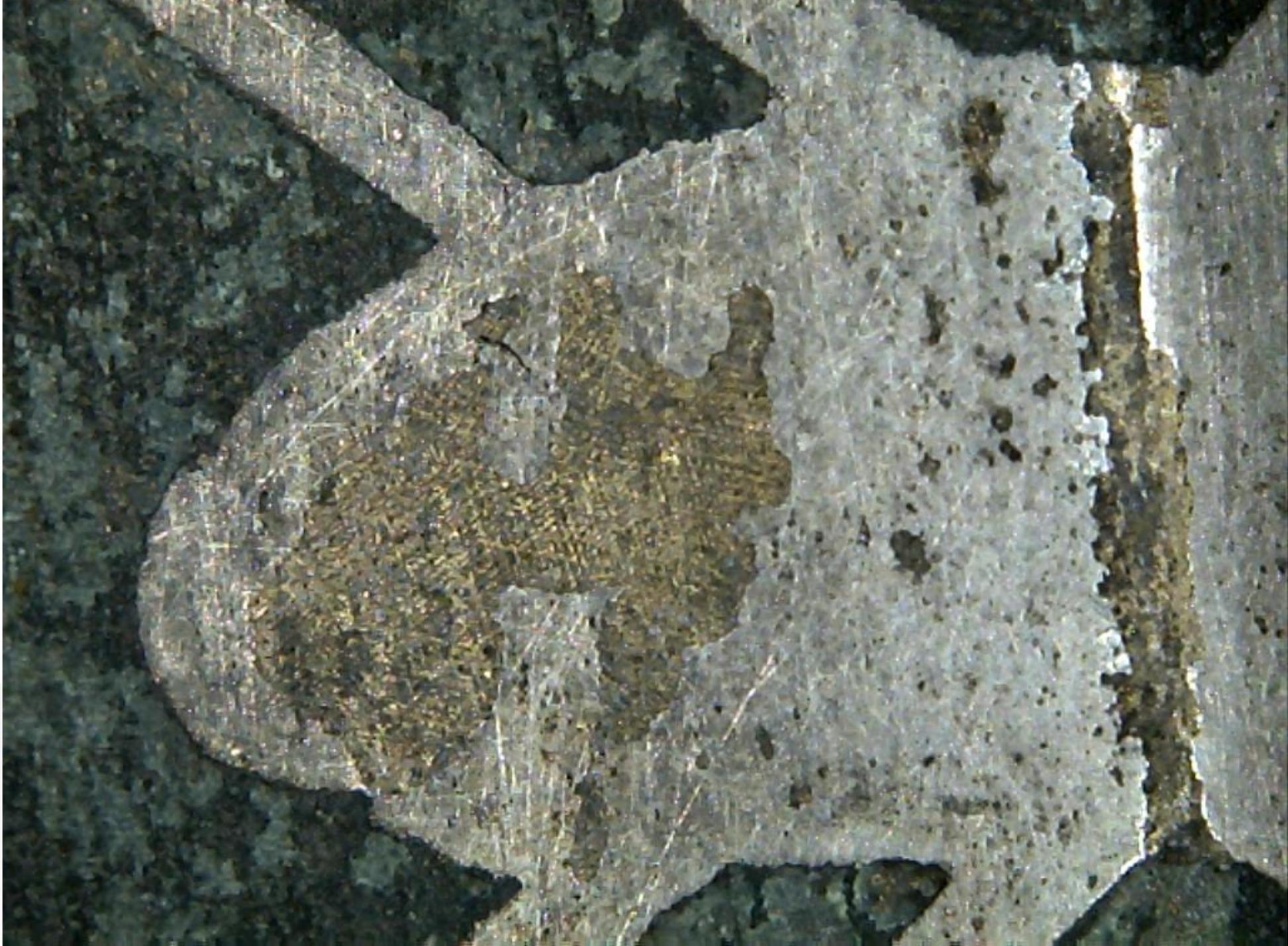


剑基体成分

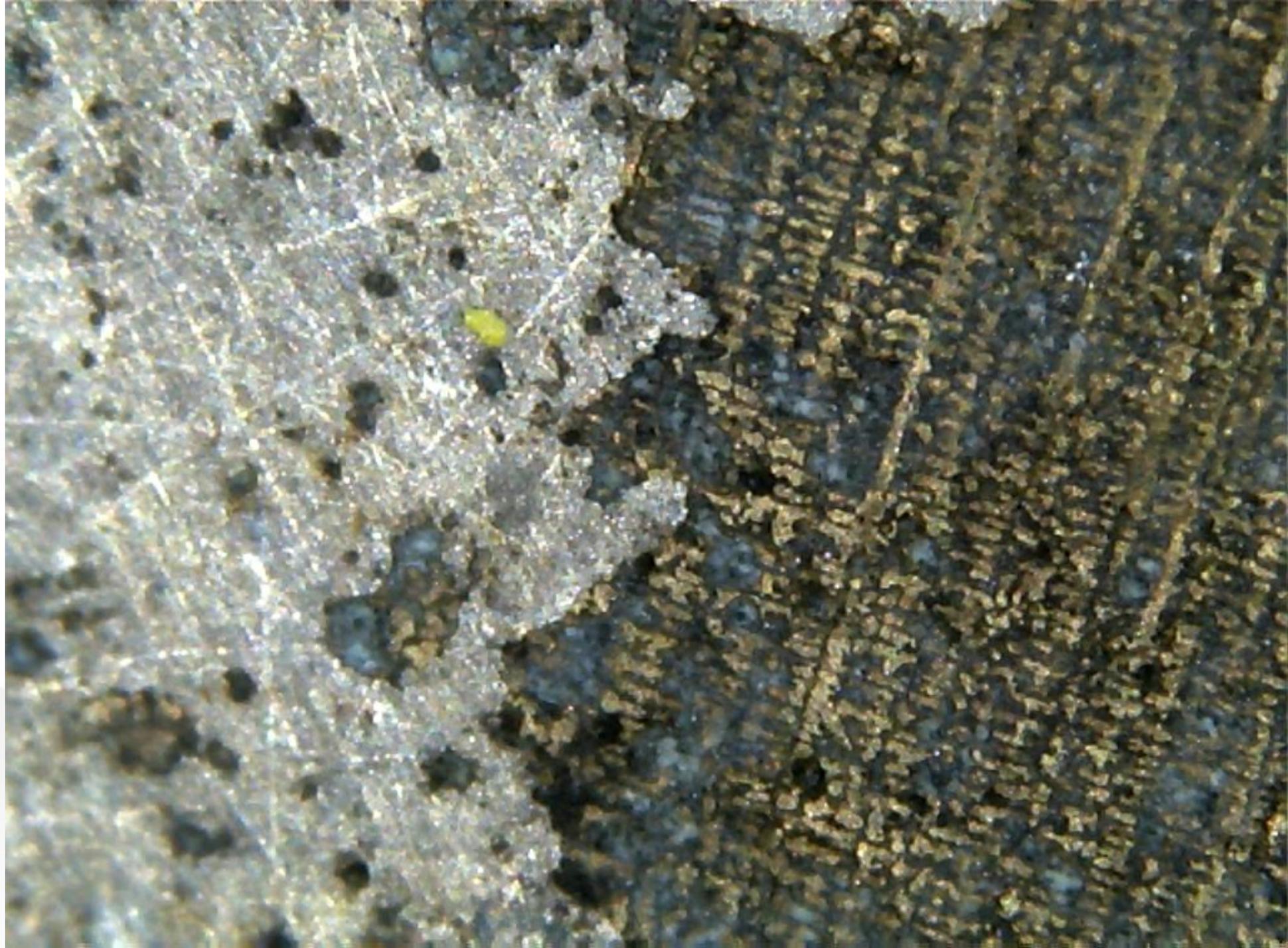


纹饰成分

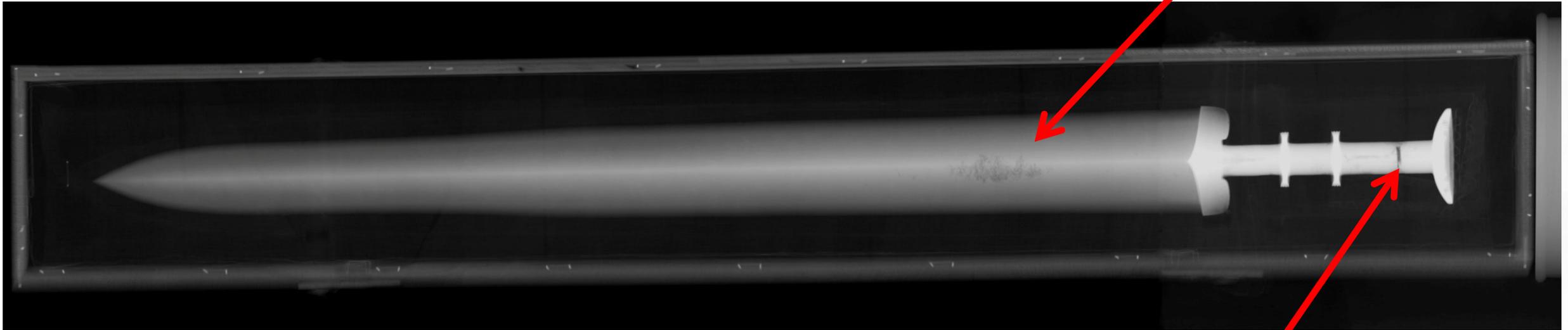




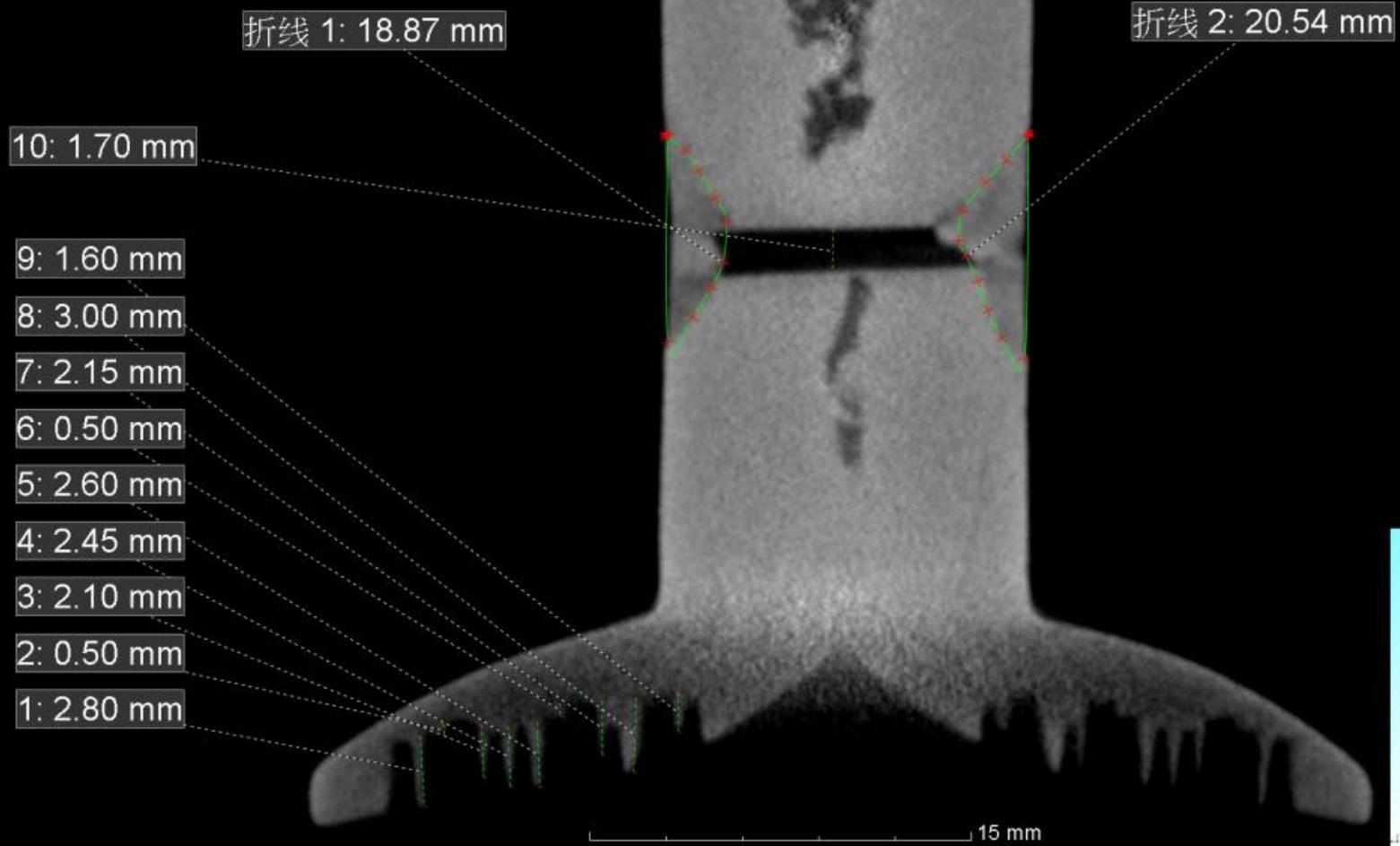




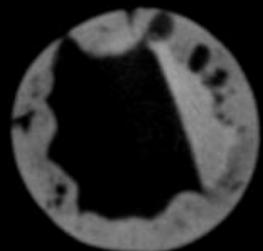
剑身铸造缺陷



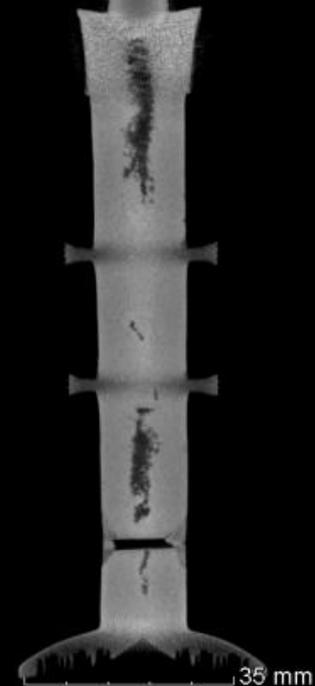
剑首与剑茎分铸



场景 坐标系
-70.77 mm

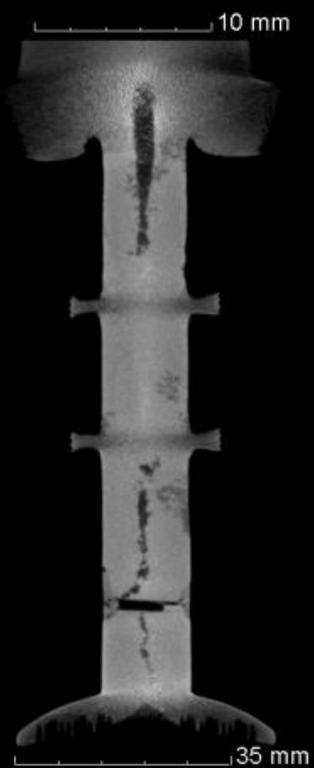


上 1 场景 坐标系
4.46 mm



右 1

场景 坐标系
-2.63 mm



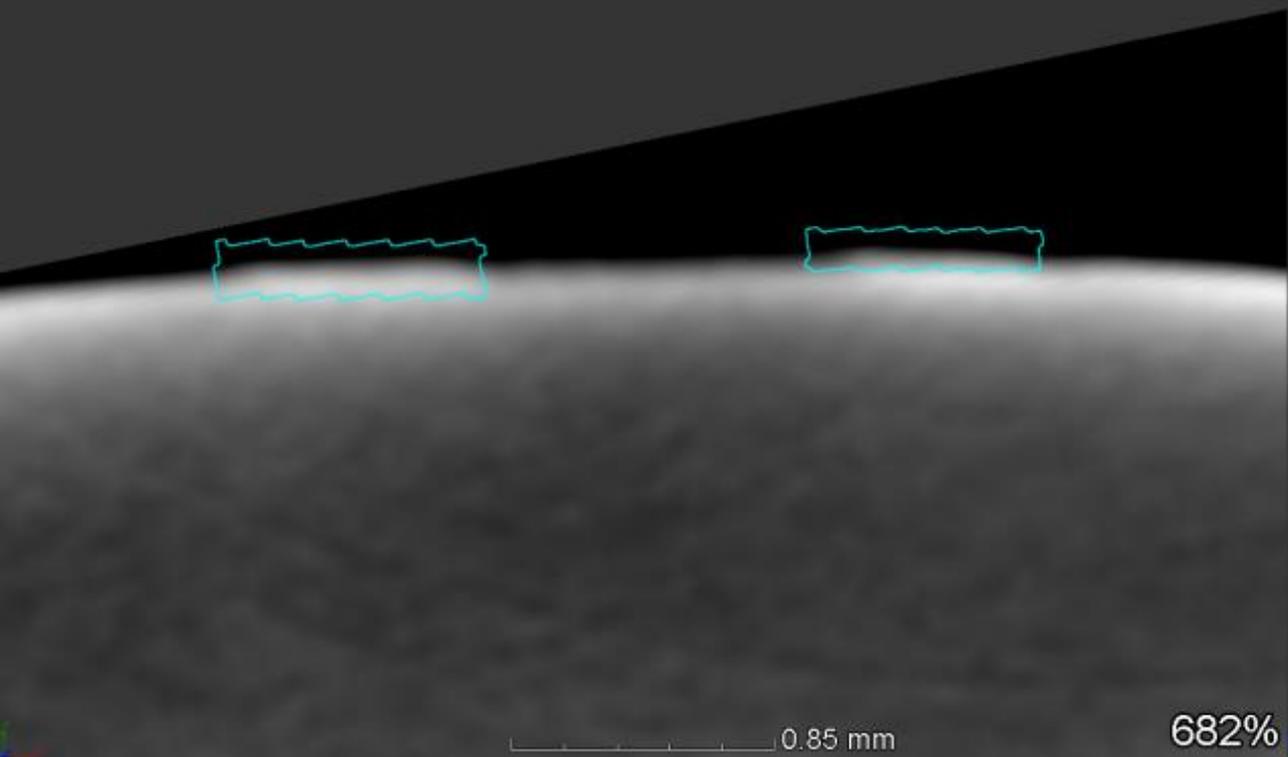
174%
前 1

61%



59%

场景 坐标系
2.01 mm



上 1 场景 坐标系
1.74 mm



前 1

四、真伪鉴别小结

1. 剑本体是真的，包括表面的锈蚀，剑首的同心圆；
2. 剑表面的银白色纹饰主要含有银，这与当时制作菱形纹以富锡方法不同；
3. 菱形纹的颜色，凸起，及周边的特征等状态都指向非古法制作；
4. 剑首与剑茎的连接方法也非古代的技术特征；
5. 因此，此剑以真剑为基础，表面镀银形成菱形纹，并嫁接其它残剑的同心圆剑首。

五、传承利用



宋代剔犀云纹圆盒
CT三维视频



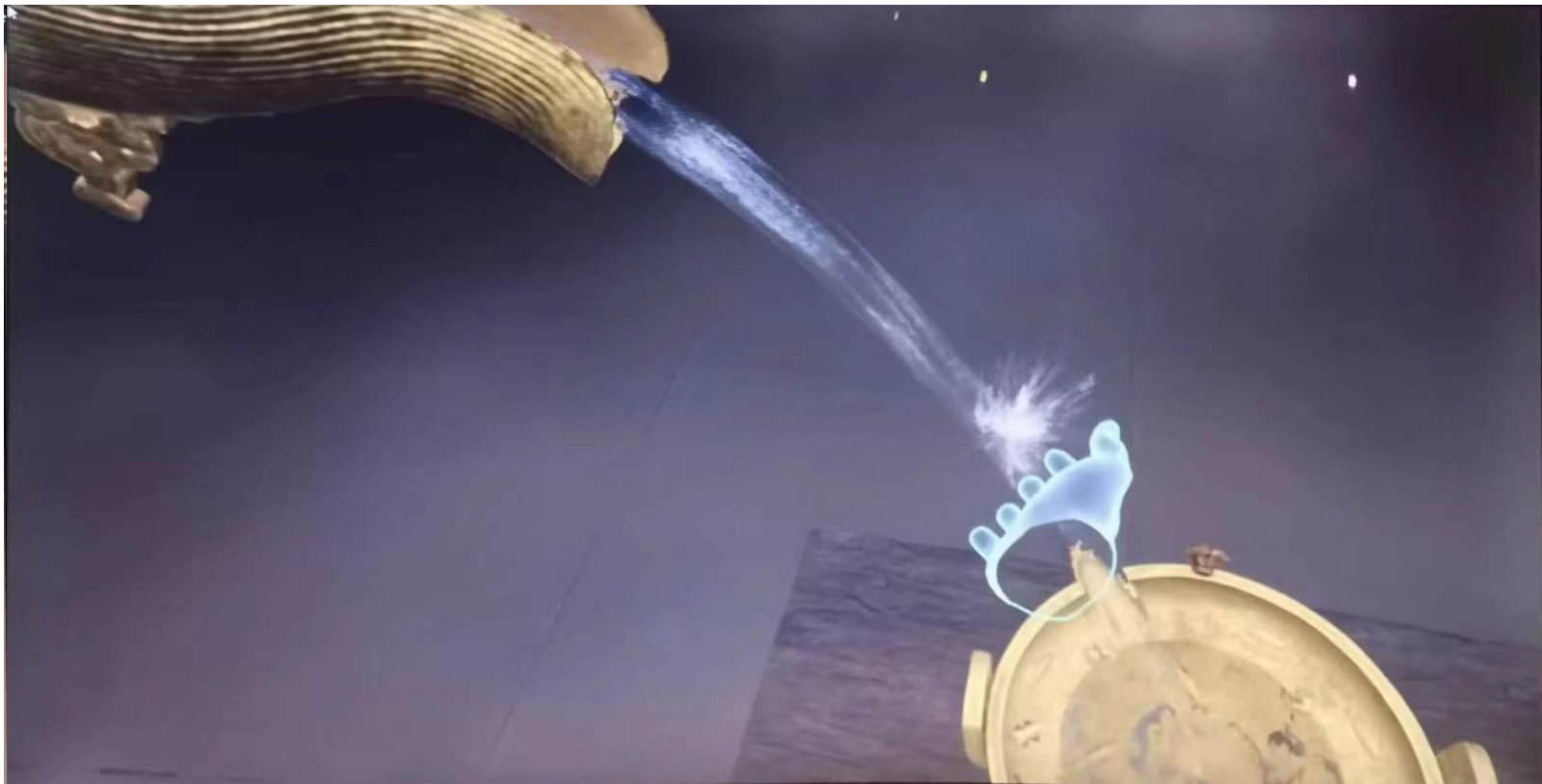
VR 体验



VR 体验



VR 体验



盘之典——山西博物院特展



晋公盘



子仲姜盘

1997年叶仲夫先生捐赠于上海博物馆收藏。春秋中期的晋国青铜器，造型和装饰风格与晋公盘高度一致。内壁铸铭文6行32字，大意是大师为仲姜作器。大师是晋国掌管乐音律的官职。

圆形浅盘，双附耳，与耳相对的盘外壁对设两蟠龙、两凤盘沿。盘底有三只走兽的虎形足。外壁装饰一周变形兽体纹。盘内底铸饰有圆雕或浮雕动物。



设计构思



圆雕动物共12个(原有13个)，主要包括水鸟、鱼、青蛙3类动物。

设计上以中心鸟为圆心，用4条呈45度角直线将盘内等分成8份，圆雕动物的轴心则都在4条直线上。一对附耳的中心连线上，排布2只青蛙和2条鱼；一对蟠龙中心连线上，排布1只青蛙和2条鱼；而在两垂直直线的45度方向的直线上，分别排布2只水鸟。

浮雕动物共19个，主要包括鱼、龟、蟹、青蛙3类。

浮雕动物分3圈排列，内圈由2只青蛙和2只龟相间隔列；中圈由4只青蛙和4只龟相间隔列；外圈由7条鱼首尾相接排列，与中圈的蛙和龟呈对应关系，但外圈鱼少了一条。在这个空缺的位置用于铸造铭文。

铸造工艺

1、不同类型的立柱，鸟、鱼等部分立柱顶部为圆锥体，下半部为有圆盘，用于防止圆雕动物脱落。青蛙内部为圆锥状转轴；

2、立柱包含在动物腹部正中，在穿孔位置夹层很薄；

3、动物的泥态形状复杂，仅仅包含立柱，还有与柱头配合的雕形或白层结构；

4、蟠龙饰先铸，并在龙口上、后足之间各设一个横向立柱，便于与盘体牢固地结合；

5、虎形是内为空洞，内侧两个等距离的金属栏，浇注盘时金属液填入虎形是内，与金属栏形成铸型结构的转换；

6、浇注盘体时，将所有附铸接在盘体上，盘体为阴范，口足虎形设在盘底中心，且在三只虎形对应的圆足是各一个，盘耳为实心，与盘体同时成形。



鸟内部结构CT图 鱼内部结构CT图 蛙内部结构CT图



蟠龙内部结构CT图 蟠龙CT三维渲染图



虎足内部结构CT图 虎足CT三维渲染图



巧工之至

中国古代与希腊罗马的航海术
术，海图的制作是一个复杂的过程，
需要工匠对航海知识进行整理，并加
以改进，以及将航海知识以一种更便
于携带——于航海过程中使用，并加
以完善。2000年，中国工匠巧
手设计并制作的航海图，第一
次展示了。

航海图

中国古代航海图
是世界上最早
的航海图之一，
它反映了当时
的航海知识和
技术水平。

航海图
是世界上最早
的航海图之一，
它反映了当时
的航海知识和
技术水平。



航海图



航海图

航海图
是世界上最早
的航海图之一，
它反映了当时
的航海知识和
技术水平。



航海图
是世界上最早
的航海图之一，
它反映了当时
的航海知识和
技术水平。

设计构思



该器物共19个主要部位，其设计构思如下：

1. 整体造型：以中心点为圆心，向外辐射，形成三个主要部分，即：第一圈为耳部，第二圈为腹部，第三圈为足部。这种设计不仅美观，而且便于铸造和运输。

2. 耳部设计：耳部采用半圆形设计，与腹部无缝衔接，既增加了稳定性，又便于提拿。

3. 腹部设计：腹部采用鼓形设计，线条流畅，体现了古代工匠对比例的精准把握。

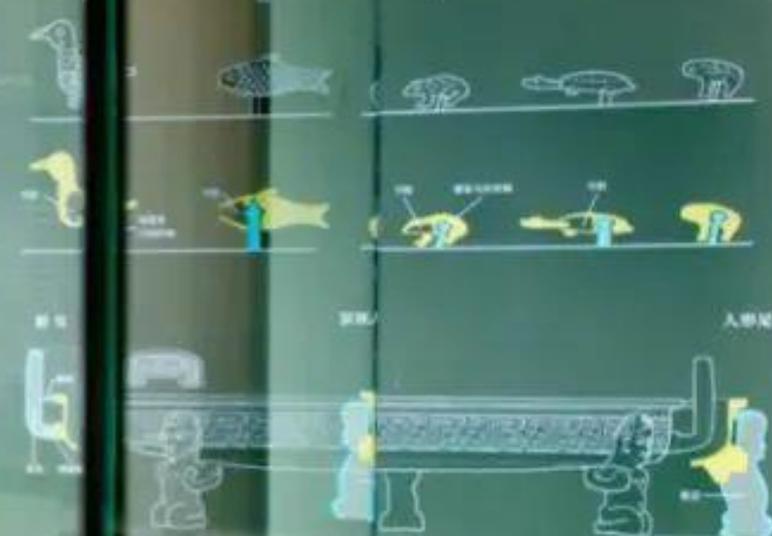
4. 足部设计：足部采用三足设计，分布均匀，确保了器物的平衡与稳固。

铸造工艺

1. 泥范制作：用粘土和石膏混合，制成与器物形状相同的泥范。泥范分为内范和外范，中间留出浇铸空间。
2. 泥范干燥：将泥范放在阴凉处自然干燥，防止开裂。
3. 泥范修整：对泥范进行打磨和修整，确保表面光滑，无杂质。
4. 泥范组合：将内范和外范组合在一起，并用石膏固定，防止移动。
5. 泥范焙烧：将泥范放入窑中焙烧，使其硬化。
6. 泥范清理：将焙烧好的泥范清理干净，去除杂质。



结构



中国古代青铜器制作技术展厅——上海博物馆



西周早期噩侯四器特展——清华大学艺术博物馆



感谢聆听!

