

第四章 合浦汉墓出土石质珠饰的科学研究

四、石质珠饰的加工微痕和制作工艺

实验采用基恩士 VHX-5000 型超景深三维显微系统对合浦九只岭汉墓出土的 8 颗宝石珠饰进行了显微观察和微痕分析，获取高画质深度合成的 2D 图像和 3D 图像并进行测量。

另外，采用便携式显微镜对合浦汉文化博物馆馆藏的绿柱石、石榴子石以及石英质的各类珠饰，也进行了加工微痕科学分析。

根据 Kelly 对公元前 400 年至公元 400 年印度南部的石质珠和饰品的研究，链珠琢型的加工工艺步骤分为获取原石、切粒剥片、琢形、研磨、抛磨和钻孔等 6 道工序（图 4-45）。^[33]

其中，磨制和钻孔是宝石加工工艺的重要内容，石英、绿柱石和石榴子石的磨制技术和钻孔技术能反映出高硬度宝玉石的制作工艺水平。

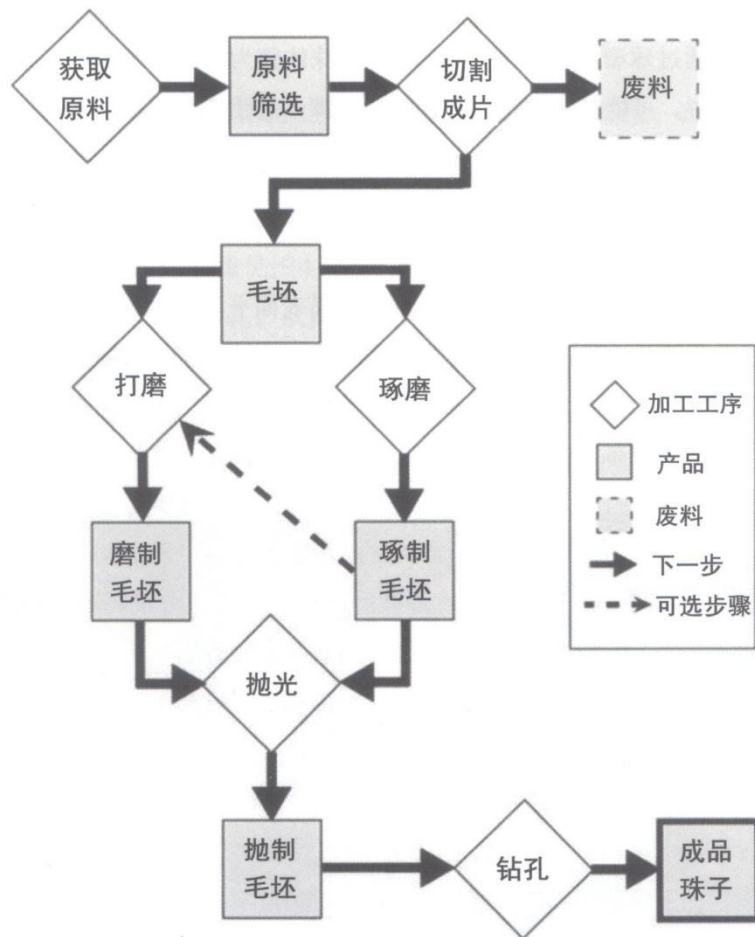


图 4-45 石质珠饰的加工流程示意图

(一) 石榴子石珠饰琢磨工艺的显微分析

1. 九只岭汉墓出土的石榴子石显微分析结果

(1) 琢型和外观

石榴子石作为与海上丝绸之路相关的一类重要珠饰文物，分析其琢型及表面的痕迹信息，有助于了解当时社会流行饰品的时代特点和工艺水平。

通过对合浦九只岭汉墓出土的 8 颗石榴子石珠饰的表面观察可知，这 8 件样品均属于链珠琢型。其中，G1 为椭圆形珠，G4A、G4D 为扁圆形珠，其余为圆形珠；G2 号珠体近似方圆形，有两个规整的平面，在其他圆形珠也可找到类似的平面，其中有些是为钻孔预留的台面。在反射光下，这批石榴子石颜色较深，不好分辨具体的颜色，但在强透射光下都呈紫红色。其中，G1、G4A、G4D 透明度较好，内含杂质和包裹体很少，表面也没有自然发育的裂隙。在显微镜观察下，除 G1、G4A、G4D 外，其余样品均存在自然裂痕或黑斑等瑕疵，内含的杂质和包裹体使得珠体不通透。通过琢型比较，G1、G4A、G4D 珠体较为通透，属于较好的原石切粒，且未被直接设计成圆珠形，可能是在磨制前存在筛选步骤，透明度尚可的石榴子石切粒会被重新设计琢型，切去了珠体的瑕疵部分。上述信息反映出原石的切粒分割工艺的技术和经验达到了实用的要求，但还不成熟。

(2) 磨制技术

为研究石榴子石珠饰的磨制微痕信息，选择样品表面平坦，没有自然裂隙和杂质的区域进行拍摄。在自然光条件下，对这 8 件样品进行肉眼观察，发现有光亮和哑光两种光泽。铁铝榴石的摩氏硬度为 7.5 级左右，经抛光表面呈现光洁明亮的玻璃光泽，天然榴石是脉状纹理的表面，非经人为打磨不至于表面布满细小的凹坑。根据 Bellina 的研究，旋磨工艺会出现平行的直线型抛磨槽，同时由于旋磨石的压力也会产生抛磨刻面；采用皮囊球磨工艺的特征是表面呈现出许多贝壳状坑和骨折线。^[34]皮囊球磨工艺磨制时，珠体在囊袋中互相碰击和摩擦，珠体表面的贝壳状坑和骨折线是碰击的效果，脉状纹理被磨平成毛孔样，肉眼观察下呈现哑光。图 4-46 的 a、e 两图的白色线圈内和箭头所指处可见平行的直线型抛磨槽，从图 4-46 的 b、f 的 3D 图像反映出的沿线性抛磨槽形成的弧形刻面，说明 G1、G4B 采用了旋磨工艺进行磨网，在 G2、G4A、G4D 也发现了这样的线性抛磨槽痕迹。图 4-46 的 c、d、g、h 等四图的白色线圈内和箭头所指处出现贝壳状坑和骨折线，符合皮囊球磨工艺的特征，在 G4A、G4E 上也发现类似特征。其中，图 4-46 的 c 图是椭圆形珠 G1 的边缘处，这里没有发现线性抛磨槽的痕迹，说明 G1 采用的旋磨工艺，只运用在珠体的弧形表面，其目的不是为了获得光亮的玻璃光泽，或者使珠体表面更光滑，只是为了磨圆，这也能解释单一珠体呈现两种光泽的原因。Iris Groman-Yaroslavski 等人根据玉髓珠表面的微痕信息，将磨制技术分为热处理、粗磨、粗抛光、精抛光 5 个阶段。^[35] 比对 Iris 的

研究结果，推测这批石榴子石样品，采用旋磨工艺的打磨程度达到了 Iris 定义的粗抛光阶段，其余采用皮囊球磨工艺的区域则符合粗磨阶段的特征。

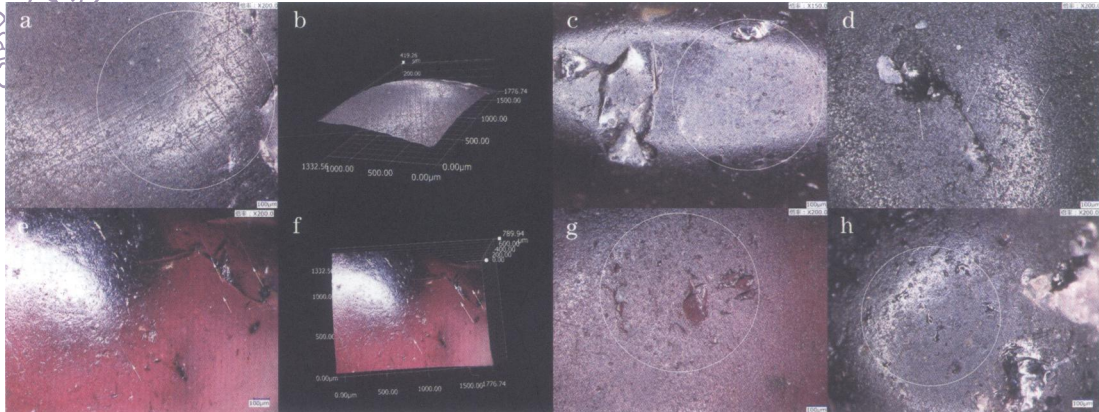


图 4-46 石榴子石样品的磨制微痕信息

a. G1 的 2D 图像 b. G1 的 3D 图像 c. G1 d. G2 e. G4B f. G4B 的 3D 图像 g. G3 h. G4c

(3) 钻孔技术

石榴子石钻孔的痕迹信息与所钻孔工具有关，常用的有双钻石钻、研磨料钻，而单钻石钻和管型钻比较少见。钻孔的钻型要依据钻孔台面和开孔痕迹、孔型、钻孔深度、钻孔的接触面、接触面的位置、孔内壁痕迹等信息来综合判断。

样品 G4A 的钻孔显微微痕图像见图 4-47。图 4-47:d 的孔 1 直径为 $1006\ \mu\text{m}$ ，浅孔；图 4-47:e 的孔 2 直径为 $1009\ \mu\text{m}$ ，深孔。从图 4-47 的 a、b、c 图可判断，G4A 号样品钻孔的孔壁粗糙，有螺旋纹，结合显微镜观察，判断孔 2 为圆筒状深孔；孔 1 和孔 2 的直径十分接近，说明采用了同一尺寸的钻头。图 4-47:f 为 G1 号样品的孔 1，直径为 $954\ \mu\text{m}$ ，圆筒状深孔；孔 1 外侧有同心圆，直径 $1166\ \mu\text{m}$ ，这是高速钻头在孔边留下的同心圆痕迹。

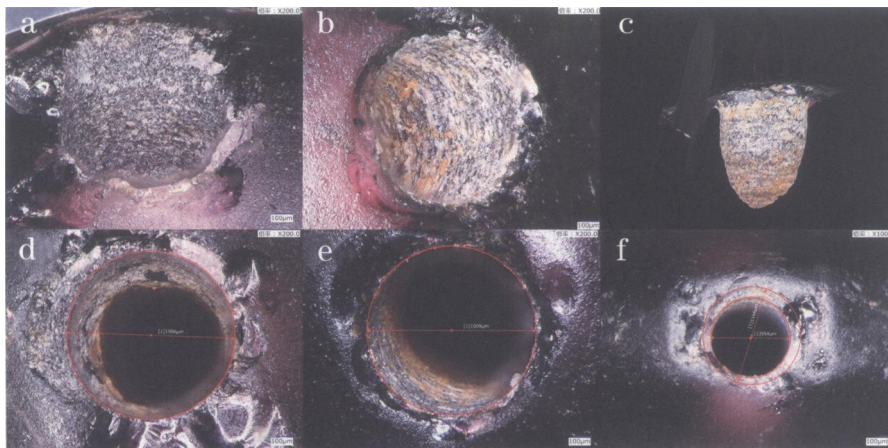


图 4-47 石榴子石样品的钻孔微痕

a. G4A, 孔 1 b. G4A, 孔 2 c. G4A 孔 2 的 3D 图像 d. G4A, 孔 1 e. G4A f. G1

综合上述的显微观察结果，这 8 件样品钻孔均为双面钻孔，孔壁粗糙，有螺旋纹，一端为占 80% 深度的圆筒状深孔；另一端为占 20% 深度的钟形浅孔（图 4-48:c）。这与 Carter

在研究 Angkor Borei 石榴子石珠饰时提到的 DD 1 钻型一致。^[36]图 4-48:a 在强透射光下可见双孔对接的痕迹。图 4-48 中的 b、d 图均是钟形浅孔，这种钟形孔的孔底是平底，孔壁有螺旋纹，深度较浅，区别于圆锥形孔；有的样品孔壁带有较大弧度，这是第一次钻孔没有贯通对钻孔的接触面，进行了二次钻孔造成的。根据这 8 件样品最小孔直径推断，钻头直径应在 900~1000 μm 。孔径在 1 mm 左右，孔壁粗糙，圆筒状孔，孔壁有螺旋纹是判断钻石钻头的主要依据，因为其他类型钻头还未发现有此特征。^[37]这批石榴子石样品都符合此特征，采用了钻石钻头的钻孔工具，进行了双面对钻。

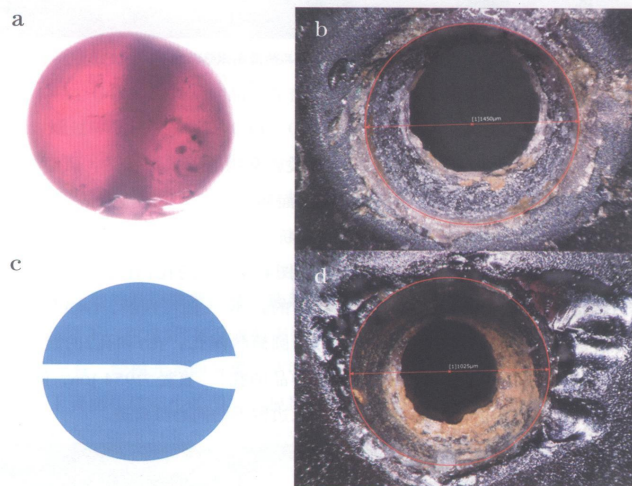


图 4-48 石榴子石样品的钻孔和钟形孔
a. G4A b. G4C c. 钻孔示意图 d. G2

2. 石榴子石鱼龙的显微分析

采用手持式显微镜对合浦风门岭 M10 出土的 1 件石榴子石鱼龙进行了显微观察和孔径测量（图 4-49），其两端孔径分别为 1.17 mm 和 1.22 mm，较为一致。

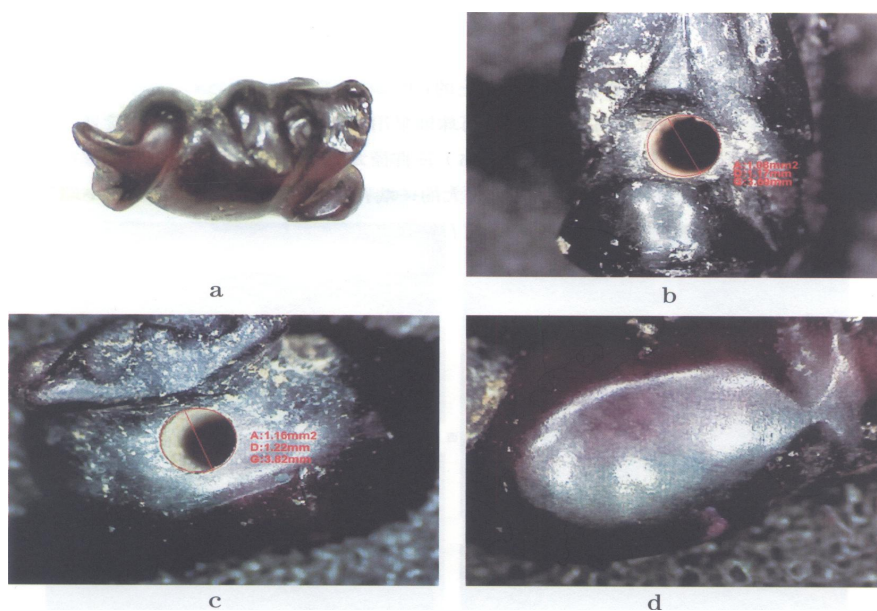


图 4-49 石榴子石鱼龙（风门岭 M10，东汉晚期）的显微微痕图片

3. 石榴子石珠饰的制作技术

广西合浦九只岭东汉墓出土的这 8 件石榴子石珠饰属于紫红色铁铝榴石。从琢型和外观来判断，这批铁铝榴石珠饰属链珠琢型。样品表面的微痕信息显示，这批样品采用了旋磨工艺和皮囊球磨工艺两种磨制技术，磨制程度并不精致。样品的钻孔痕迹表明这批样品均是采用钻石钻头的钻孔工具，根据显微观察孔边钻头滑脱的痕迹，可能是双钻石钻头。这批铁铝榴石珠饰的制作技术流程大致为获取原石、分割切粒、筛选、设计琢型、磨削预形、粗磨、粗抛光（磨圆）和钻孔等工序，钻孔又可分为磨制钻孔台面（图 4-47:f）、划开孔槽、研磨钻孔和贯通等几道工序。

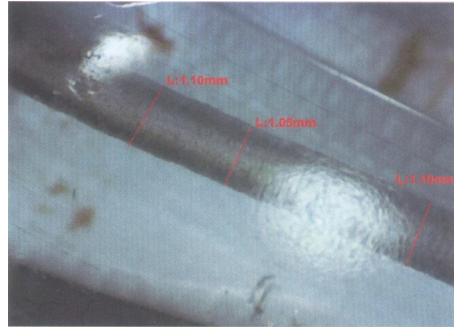
宝石是海上丝绸之路贸易重要的商品之一，九只岭 M5 出土的这批石榴子石宝石珠饰并没有采用难度大、时间成本高的精抛光技术，其表面只是进行了粗磨或粗抛光加工。从原石品质来说，这批石榴子石原石切粒颜色较暗，透明度较差，瑕疵度较高。这在一定程度上反映了当时充分利用低品质石榴子石原石，可能是为了满足日益增加的海上贸易需求。

（二）绿柱石珠饰的显微分析

采用手持式显微镜对合浦风门岭 M10 出土的 1 串绿柱石珠饰(000455)进行了显微观察和局部测量（图 4-50），可以看出这几颗绿柱石珠饰采用了双面对钻工艺。钻孔连接处往往一端直径大（约 1.5 mm）、一端直径小（约 1.1 mm），直径大的一端往往钻的浅一些，直径小的一端钻得深一些。以 000455-10 为例，钻孔直径大的一端孔径约 1.5 mm，而直径小的一端孔径约 1.1 mm。钻孔孔径相对较小，可能是采用了钻石钻孔工艺。



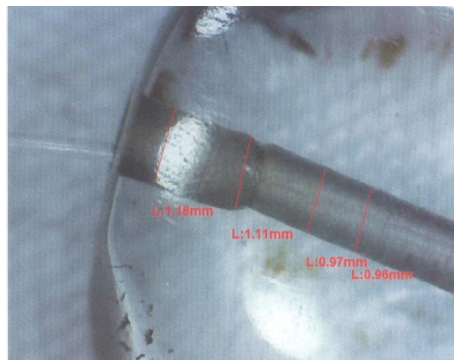
a. 000455-10



b. 000455-12



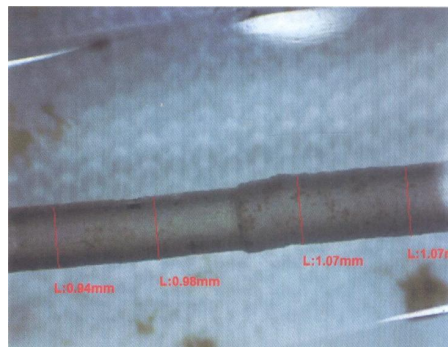
c. 000455-15



d. 000455-18



e. 000455-18



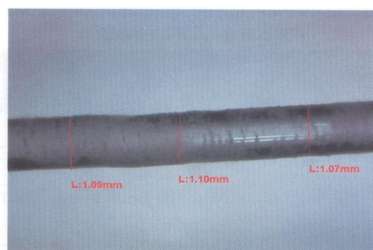
f. 000455-22

图 4-50 合浦风门岭 M10 出土绿柱石串饰(000455, 东汉晚期) 显微图片

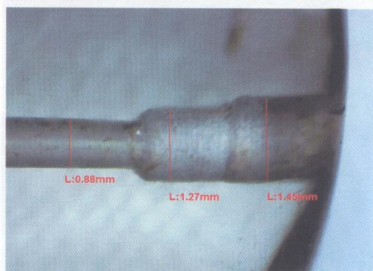
(三) 石英质珠饰加工微痕显微分析



a. 六棱柱无色水晶珠 (西汉时期, 望牛岭 M1)



b. 000931, 黄水晶 (西汉时期, 凸鬼岭 M30A)



c. 蝉形水晶 (西汉时期, 望牛岭 M1)

图 4-51 合浦汉墓出土水晶珠饰穿孔形状

采用手持式显微镜对合浦汉墓出土的部分石英质珠饰样品的加工痕迹显微形貌分析，分析结果见图 14-51 至图 4-54。穿孔形状、穿孔直径以及穿孔内部的显微痕迹等信息是利用珠饰残留的加工信息，对穿孔工艺进行反推的重要线索。水晶珠饰透明度高，可对穿孔形状进行观测。图 4-51 展示的是合浦汉墓出土的水晶珠饰穿孔形状，同时也给出了穿孔直径尺寸。由该图可知，此类珠饰的穿孔形状基本为圆柱形，穿孔内部可以观察到明显的摩擦痕。穿孔孔径范围在 0.68~1.48 mm，孔径较小。上述特征与钻石钻孔工艺特征是相一致的。因此，此类珠饰应采用了钻石钻孔工艺进行钻孔。通过加工痕迹显微图像也可以看出，钻孔主要采用了双面钻孔（对钻）的方式，而且是当穿孔在靠近另外一端的附近停止，然后从另外一端重新开始钻孔。这应是工匠有意而为之，若是一气贯通，则容易造成珠体的另外一端破裂。采用对钻方式可以有效避免珠体破裂，从而增加制珠的成功率。上述情况表明，此类珠饰所采用的穿孔工艺已经十分成熟。

图 4-52 为部分红色石英质珠饰穿孔孔径的数值测量结果。由该图可知，水晶珠饰、红玉髓以及蚀刻珠珠饰样品穿孔孔径相对较小，其范围在 1.04~1.55 mm 之间，而玛瑙珠饰穿孔孔径相对较大，其范围在 1.79~2.35mm 之间。上述差异表明，两类珠饰采用了不同的钻孔工艺。穿孔直径相对较小的珠饰样品可能采用了钻石钻孔工艺，而穿孔孔径相对较大的珠饰精品则可能采用了实心钻加解玉砂工艺。珠饰端面穿孔周边均有不同程度的破坏区域，不同的样品其破坏区域具有不同的特点，总体来说可以分为两类：一类是穿孔周边破坏区域不规则、具有随意性，见图 4-52:b、c；另一类则具有规则性，主要形状为圆形，与穿孔构成了同心圆结构，见图 4-52:a、h、k、L 所示。弗朗西斯(Peter Francis Jr)认为具有规则破坏区域的样品应该是利用了机械工具进行穿孔，而具有不规则破坏区域的样品则是利用手持钻头进行钻孔。^[38]

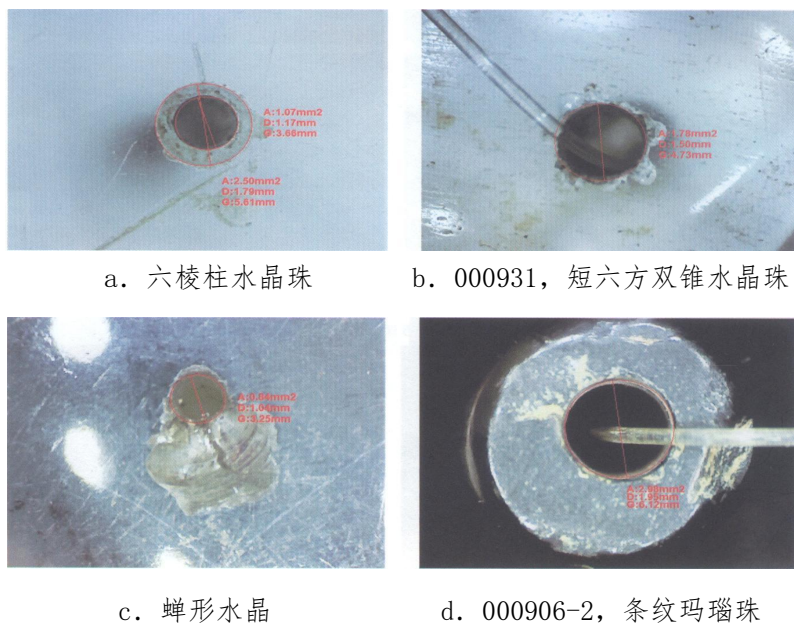
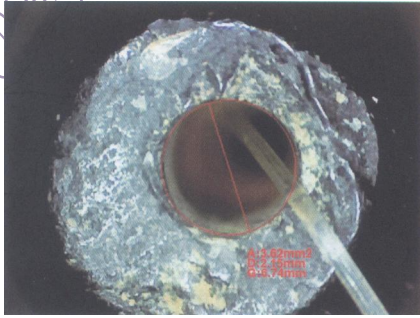
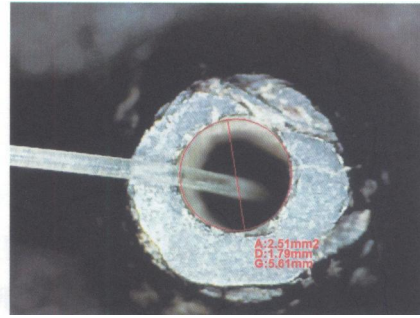


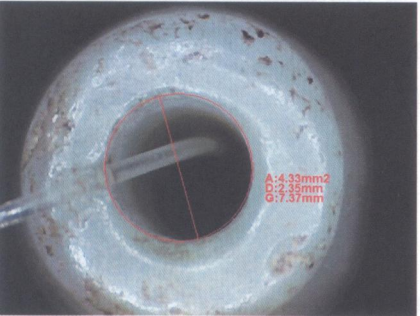
图 4-52 合浦汉墓出土石英质珠饰穿孔孔径尺寸



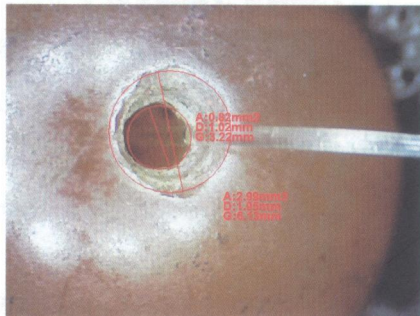
e. 000906-5, 条纹玛瑙珠



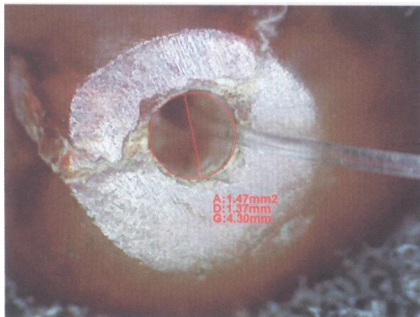
f. 000906-10, 条纹玛瑙珠



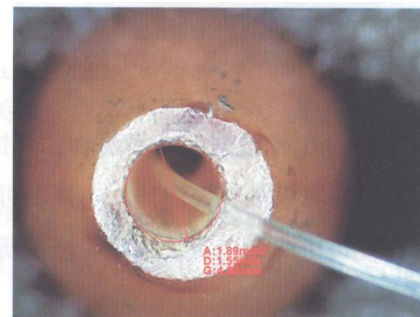
g. 000906-11, 玛瑙珠



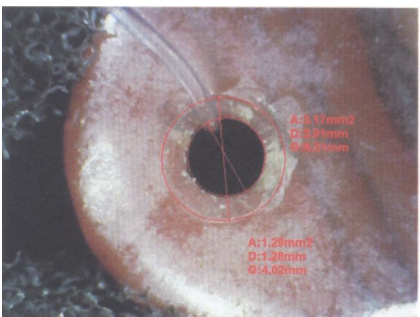
h. 000906-15, 红玉髓珠



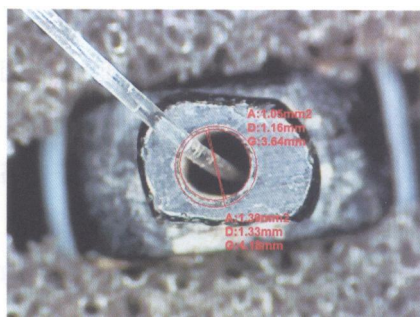
i. 000906-17, 红玉髓珠



j. 000906-17, 红玉髓珠



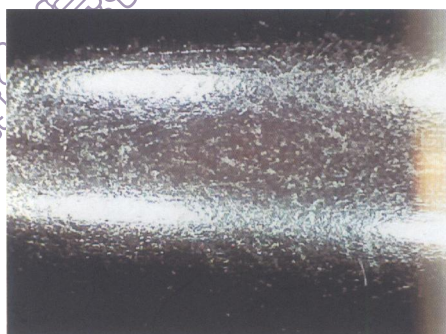
k. 000368-7, 红自玛瑙叶形饰



l. 000368, 条纹玛瑙蚀刻珠

续图 4-52

珠饰表面抛光程度的高低说明了珠饰加工质量的高低。水晶质样品透明度高，表面光滑，抛光程度高。玛瑙质样品表面抛光痕迹清晰可见（图 4-53），表面亦光滑，抛光程度较高，表明珠饰样品加工质量高。



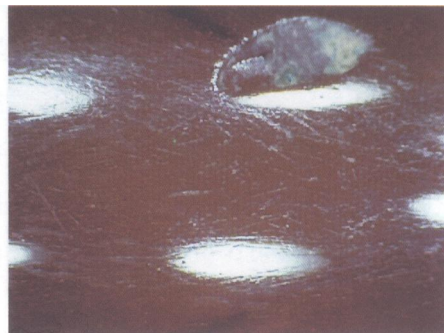
a. 000906-2. 条纹玛瑙珠饰



b. 000906-5, 条纹玛瑙珠饰



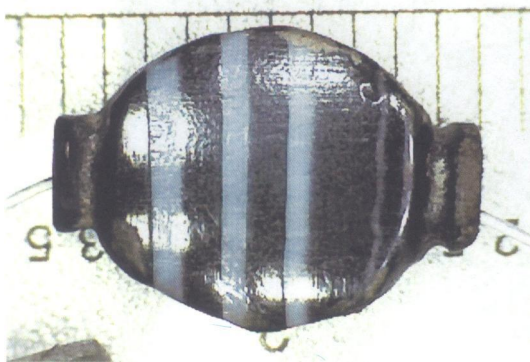
c. 000906-11, 玛瑙珠饰



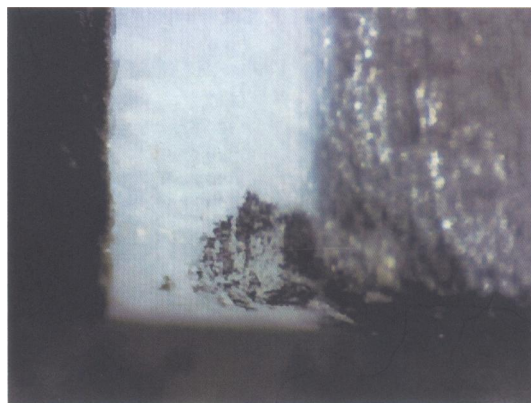
d. 000906-42, 红玉髓珠饰

图 4-53 合浦汉墓出土玛瑙珠饰表面抛光微痕

蚀刻石髓珠是比较特殊的一类器物，其蚀刻工艺一直是研究的热点。图 4-54 为广西合浦汉墓出土的黑色条纹蚀刻石髓珠。由该图可以看出，蚀刻珠珠体为黑色，白色仅在表层。有学者曾对印度出土的黑白条纹蚀刻珠进行研究，结果表明黑白条纹均为经人工处理后形成的。^[39]



a



b

图 4-54 合浦汉墓出土蚀刻玛瑙珠(000368)显微图像