



山东省济南市洛庄汉墓出土的两件错金银铁质马具保护修复研究

◆ 王浩天

(中国社会科学院考古研究所)

◆ 张红燕

洛庄汉墓位于济南市东部的章丘区洛庄村西约 1 公里处,南距 106 国道约 1.5 公里,在东平陵故城郑东约 6 公里(图一)。上世纪 90 年代,由于墓葬封土不断遭到破坏,大量文物不时暴露或被盗掘,文物部门于 1999 年夏对其南部进行了抢救性清理,共清理陪葬坑 9 座,出土文物 400 余件。2000 年经国家文物局批准,对墓室周围进行了全面勘探与发掘,经过

一年多的工作,又发现一批陪葬坑和祭祀坑。到 2001 年年初,共在洛庄汉墓主墓室周围发现陪葬坑和祭祀坑共 36 座,出土各类文物 3000 多件。墓葬的年代被判定为西汉初年,墓主人可能是吕后之侄,第一任吕国国王吕合。由于洛庄汉墓考古发现的遗迹现象复杂多样,出土文物丰富,且多为此前考古发现所罕见,被评为 2000 年全国十大考古新发现之一^①。



图一 洛庄汉墓位置示意图

洛庄汉墓出土文物的质地主要有：金器、鎏金铜器、铜器、铁器、陶器、石器、骨器、漆器、木器等。9号陪葬坑出土的一批富有北方草原地区风格的马具引起了学者的关注^②。

9号坑位于东墓道南侧，总长25.9米，台阶式入口朝东。此坑共发现7匹马和10条犬，其排列情况为：1匹马位于最东端，其余6匹分为3对，依次向西放置，马头相靠，马具大都被卸下放在旁边。9号坑的最西端是10条犬的尸骨，犬的颈部均有用海贝和铜环组成的项圈。从9号坑所处的位置和随葬品的内容推测，该坑是墓主人日常出行或狩猎使用的动物^③。9号坑出土马具达200余件，以一批具有草原风格的金质马具最为引人注目。此坑出土的铁质马具也占有一定比例，主要品类包括马镫、当卢和铁泡等。值得注意的是，不少铁质马具上多有错金银丝、片的纹饰，而且其图案丰富。图案的主体风格与同坑出土的纯金、鎏金马具上的图案属一种性质，即以极具北方草原特点的怪兽纹和S形反转马为主要母题，在同时期的考古发现中实属罕见。这批铁质错金银马具的科学价值，不仅对认识汉初马具的特征有很大帮助，对当时汉王朝与周边文化交流的研究也是一批重要的实物资料。

一、病害现状与分析

2015年，中国社会科学院考古研究所保护修复室对洛庄汉墓陪葬坑中出土的70件铁器进行了科学的保护修复。本文对其中的两件错金银铁质马具的科学分析与保护修复各环节，包括文物保存环境与保存现状调查、分析检测、保护修复技术路线的制定与实施等，进行系统梳理。为叙述方便，将这两件文物分别编号为一号马具（P9:69）和二号马具（P9:207）。

（一）文物保存环境与保存现状调查

这两件文物出土前埋藏于山东洛庄汉墓，出土后保存于山东济南市考古研究所文物库房内。

章丘区位于山东省省会济南市的东部，北纬36°25′-37°09′，东经117°10′-117°35′之间，总面积1719平方公里。西邻历城区，东连淄博市，南交泰安、莱芜市，东北与滨州市邹平县接壤，西北隔黄河与济阳县相望。

章丘属暖温带季风区的大陆性气候，四季分明，雨热同季，春季干旱多风，夏季雨量集中，秋季温和

凉爽，冬季雪少干冷。年均日照2647.6小时，平均气温12.8℃，年平均降水量600.8毫米，相对湿度65%，无霜期192天。

从地貌的角度来看，章丘属于鲁西断块区，在鲁西断块区的泰鲁块隆内，古生代地层由新到老出露，最老的为中上寒武系的灰岩出露构成南部小区；泥盆系中、上石灰岩系沙页岩出露于明水附近地区，往北在小长白山附近则以火成岩为主。

章丘区境内大部地区属小清河水系，东南部少数山区属大汶河水系。主要河流有黄河、小清河、绣江河，东、西巴漏河，漯河、巨野河等。考古工地南面靠近大站水库。墓葬区位于章丘区的中部偏西北，以褐土和水稻土为主，褐土有存在碳酸盐弱度淋溶与积聚，水稻土中有机质及氮素含量高，且长期处于水淹的缺氧状态，土壤中的氧化铁被还原成易溶于水的氧化亚铁，并随水在土壤中移动，氧化亚铁又被氧化成氧化铁沉淀。

这两件铁器文物于1999年-2001年间先后发掘，出土后保存在山东济南市考古研究所文物库房内。文物埋藏时受到土壤及水文等自然环境影响，出土后环境巨变，并且用于保存的库房内缺乏相应的温度、湿度等环境监测及控制设备，温湿度变化随自然环境变化较大，不宜于金属类文物的长久保存。

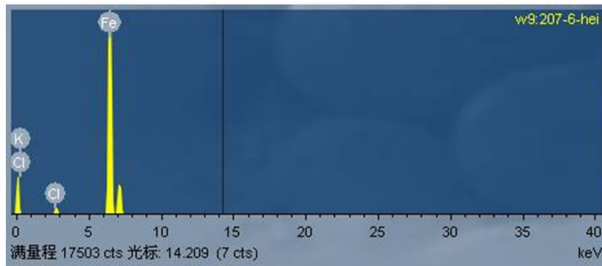
由于地下埋藏环境的长期作用，并且受出土后保存环境的影响，两件铁质文物保存状况较差。我们接手修复时，铁器整体呈棕黄色，表面全部被很厚的锈蚀层及表面硬结物覆盖。锈蚀物结构酥松发脆，多有裂隙及层状剥离现象。部分裂隙甚至贯穿文物基体，有大量瘤状物以及点腐蚀现象，部分瘤状物破裂形成孔洞。锈蚀层将大部分金银纹饰覆盖，局部有露出的金片或银片。由于基体锈蚀变形，而出现起翘或脱落的现象。

参照《馆藏铁质文物病害与图示》^④，可观测到的病害有：残缺、断裂、裂隙、变形、孔洞、层状剥离、表面硬结物、瘤状物、点腐蚀、缝隙腐蚀、矿化等。

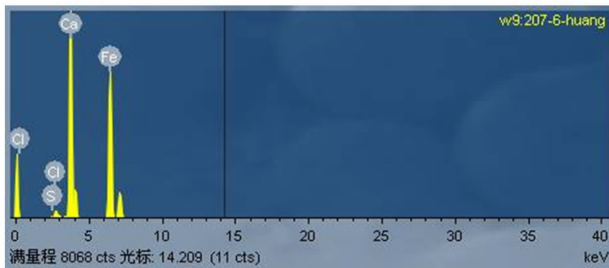
（二）分析检测

在病害认知的基础上，我们分别采集器物表面附着的土样（表面硬结物）、部分脱落的锈蚀物以及脱落金银残片，进行离子色谱分析（IC），扫描电镜分析（SEM）、X射线衍射分析（XRD）、X射线成像分析，以及三维视频观察。

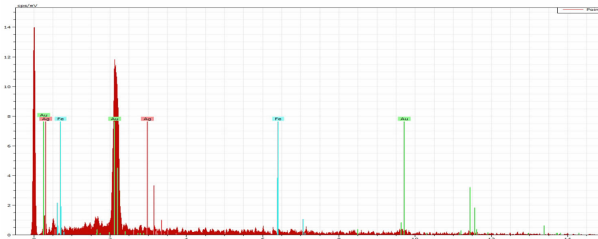
保护修复前的分析检测尽量使用无损检测方



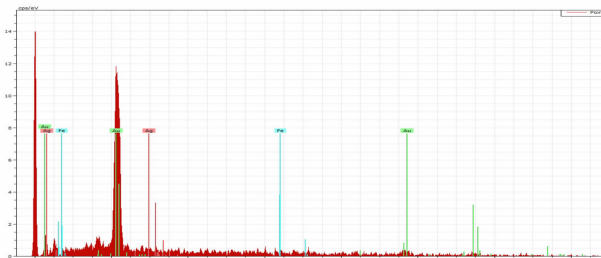
图二 二号马具(P9:207)黑色锈蚀 SEM 谱图



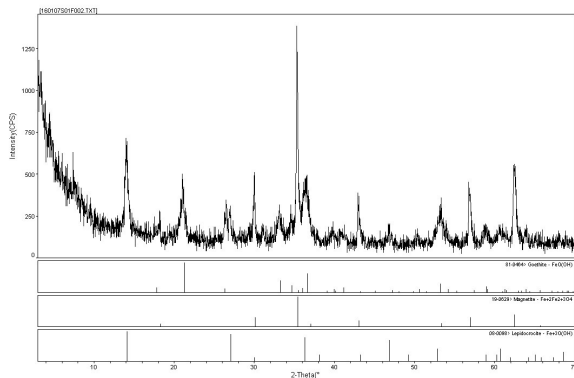
图三 二号马具(P9:207)黄色锈蚀 SEM 谱图



图四 一号马具(P9:69)金残片谱图



图五 一号马具(P9:69)银残片谱图



图六 一号马具(P9:69)脱落锈蚀 XRD 谱图

法,需要采集样品的以保证文物的完整性为前提。为保证分析数据的真实性,样品的采集与制备工作由社科院考古研究所保护修复工作人员完成。样品采集时均有详细记录,内容包括:采样时间、样品编号、样品名称、样品描述、检测目的、采样部位照相留档,以及标识取样部位示意图。

离子色谱分析(IC)测试结果表明,器物上附着的表面硬结物中, Cl^- 含量较高 68.5752mg/L,此外还有 SO_4^{2-} 和 NO_3^- 。阳离子以 Ca^+ 为主,此外还有 NH_4^+N ,及微量的 Na^+ 、 K^+ 、 Mg^{2+} 。

扫描电子显微镜分析(SEM-EDS)分析结果表明,锈蚀产物中的主要元素为 Fe、C、O,而且 O 含量非常高,且在背散射照片中,深色部位的含氧量较浅色部位更多。表层的锈蚀中通常还含有 Si、Ca、Mg、Al、Na、K 等元素,其中瘤状物状的锈蚀中含有 4.53%的 Cl 元素。

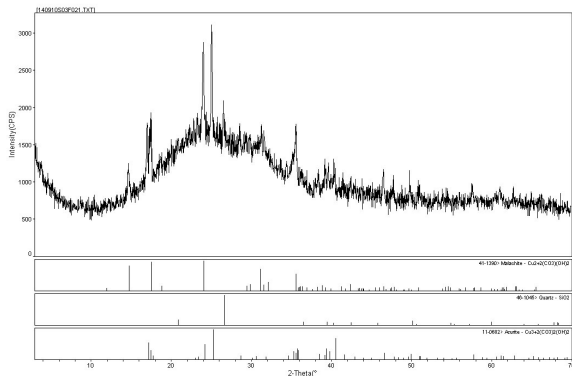
两件铁马具上黄色和黑色锈蚀中均含有氯元素。(SEM 谱图见图二、图三)镶嵌的金、银残片成色较高,金残片中为 Au 含量 95.28%,Ag 含量 4.72%,银残片中 Ag 含量 99.26%,Au 含量 0.74%。(SEM 谱图见图四、图五)

X 射线衍射结构分析(XRD)测试结果表明:铁器腐蚀产物的结构主要为针铁矿、磁铁矿、纤铁矿与四方纤铁矿。其中靠近表层的把锈蚀中,针铁矿含量最高,约 45%,其次为磁铁矿与纤铁矿。脱落的锈渣中磁铁矿含量较高,其次为针铁矿与纤铁矿。颜色较浅,近黄褐色的锈蚀,瘤状物中含有较多的四方纤铁矿,其次为针铁矿与纤铁矿,磁铁矿含量很少。此外表层还含有石英、方解石等出自埋藏环境的杂质。XRD 谱图见图六、图七。

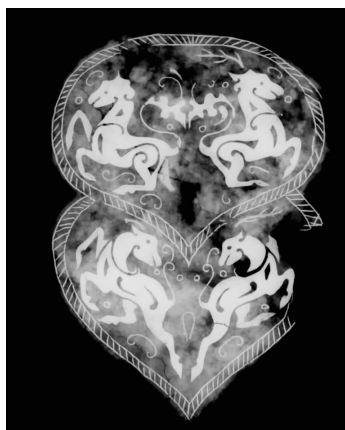
X 射线成像分析测试结果指出:两件错金银马具上的纹饰被铁锈所覆盖,金银丝、片下层的铁基体锈蚀程度不一,黑色的部分已经完全锈蚀,并且在铁锈的影响下,局部的金银装饰已经变形,锈蚀层参差不齐。图八、图九是两件马具的 X 射线成像片。

我们运用超景深视频显微镜对马具上的嵌金、银丝片的制作工艺进行的观察显示,由于两件文物腐蚀严重,大部分制作工艺信息因基体矿化严重而消失,但借助视频显微镜,扩展视野后依然可以观察到残留的平盘线刻沟槽,见图一〇、图一一。

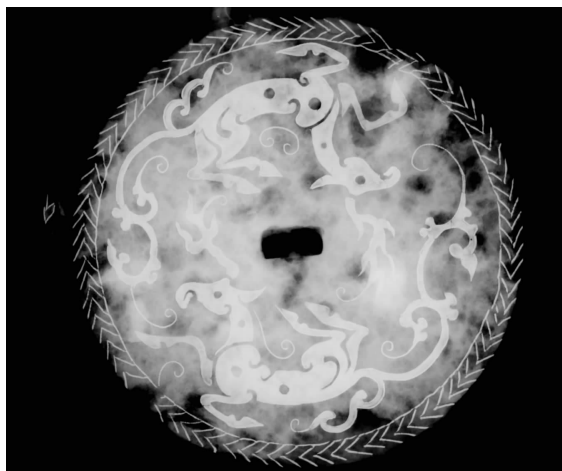
通过对两件错金银铁质马具病害和腐蚀产物



图七 一号马具(P9:69)瘤状物锈蚀 XRD 谱图



图八 一号马具(P9:69)X射线成像片



图九 二号马具(P9:207)X射线成像片

分析得知,文物的主要病害有残缺、断裂、裂隙、变形、孔洞、层状剥离、表面硬结物、瘤状物、点腐蚀、缝隙腐蚀、矿化等多种。

主要锈蚀产物为针铁矿、纤铁矿、磁铁矿和四方纤铁矿。由于他们的晶体结构、粒度、水合程度的不同,所以锈蚀物颜色也有差异。器物外层的锈蚀物颜色呈褐色或黄色,并且疏松、有孔洞,靠近内侧的腐

蚀产物附着性好,有韧性、致密,通常呈黑色。内层紧密附着在器物上致密的锈蚀物主要物相为 γ -FeOOH。从 α -FeOOH, γ -FeOOH 的物理性能分析,他们的结构不同, α -FeOOH 是斜方六面体晶结构,而 γ -FeOOH 属尖晶石结构。测试和对复式层形成机理研究可知,在潮湿环境中,铁的腐蚀首先是形成 γ -FeOOH,之后在根据条件部分或全部转化为 α -FeOOH,或 Fe_3O_4 ,在常温下这种转变过程是极其缓慢的。瘤状物和点腐蚀处的锈蚀产物多为四方纤铁矿。

通过离子色谱分析得知,铁器的埋藏环境中存在在侵蚀性的 Cl^- 、 NO_3^- 、 SO_4^{2-} 。结合 SEM-EDS、XRD 分析,可以确定两件铁器中存在四方纤铁矿,对铁器的危害极大,亟需进行有害氯离子脱出处理。

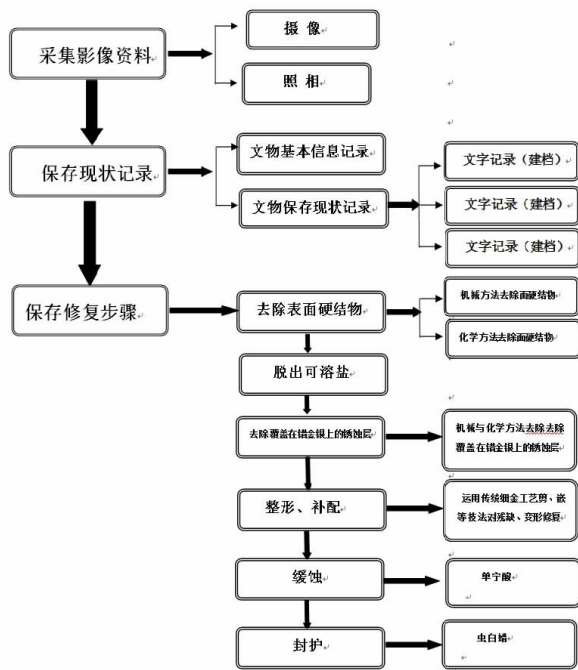
另外,镶嵌在文物上的金银丝片成色较高,这些纯度高的贵金属材料为精美纹样的制作提供了良好的加工空间。同时,嵌有金银丝片的铁器,由于电位不同,构成原电池。铁的电极较低,成为阳极,电位高的金、银成为阴极,在有介质存在时形成电池。铁作



图一〇 平整沟槽-1



图一一 平整沟槽-2



图一二 错金银铁质马具保护修复流程图

为活泼金属在阳极区反应,使铁离子化而被腐蚀。此时电子从阳极流向阴极,使得铁会不断被腐蚀、流失。

X射线成像结果指出,两件铁器腐蚀矿化十分严重,存在不均匀腐蚀的现象,而且有许多隐藏的裂隙,本体强度与物理稳定性都大大降低。

运用视频显微镜对残留的平鏟线刻沟槽及脱落金银丝片处观察,确定两件铁质马具表面的装饰工艺运用了我国传统的错金银工艺。

二、保护修复技术措施的制定与实施

在前期科学分析检测的基础上,对病害有了一定程度的认知。为了保证两件错金银铁质马具保护修复工作的顺利完成,遵守原真性原则,我们在保护修复过程中力求做到不改变器物原形制及艺术风格。

(一) 保护修复流程

在具体的文物保护修复过程中,参考国家文物局颁布的《馆藏铁器病害与图示》和《馆藏金属文物档案编写规范》标准,我们为两件铁质文物制定了适用且可行的保护修复处理步骤。保护修复流程图一二。

(二) 保护修复实施

X射线成像为我们呈现了锈层下金银饰片的保存状况及纹样走向和铁质基体的腐蚀程度,为采取物理及化学处理方法提供了直观的依据。

(一) 表面硬结物去除

对于附着在铁器表面的硬结物,我们采用化学试剂与物理方法结合的措施去除。首先选用10%(W/V)六偏磷酸钠对钙基沉淀物进行软化,或75%(W/V)乙醇来润泽软化覆盖的泥沙,配合竹片刀、鏟子、锤子、手动打磨机等物理方法去除。残留在铁器上的六偏磷酸钠则使用纯净水洗净后强制干燥。

(二) 化学方法软化表面锈蚀后再以机械方法去除

文物表面生成的致密与疏松的锈蚀是电化学腐蚀和化学腐蚀多相反应的结果,部分腐蚀产物具有吸湿作用,使腐蚀继续进行。由于铁锈将表面的金银纹饰大部覆盖,无法展现出文物的艺术价值。而且铁器锈蚀物的疏松结构具有一定的蓄水功能,如不除去,在保存条件不理想的情况下将对铁器本体持续腐蚀。我们采用的具体方法是:先用除锈剂将脱脂棉浸湿,敷于文物表面,待软化锈蚀之后,使用手动打磨机去除。为了保证金、银装饰物表面完整无划痕,我们通过点触的方式震动锈蚀物,使其与基体分离脱落。除锈剂主要使用5%(W/V)草酸与5%(W/V)乙二胺四乙酸二钠盐(EDTA)交替使用,软化后先用去离子水清洗,再用50%乙醇溶液二次清洗。软化后的锈蚀物采用物理方法去除时,在工作显微镜或手术显微镜下,在X探伤片的指导下进行。脱落的金、银丝片暂用10%(W/V)B72回贴,防止丢失或遗漏。

除锈过程中,文物始终放置在软材料上,以缓冲打磨机带来的震动对文物的影响。如果文物本身矿化严重,则用纱布、白乳胶、油泥、木板等制作背衬,以增强文物本身的强度。

(三) 去除可溶盐

前期的分析结果指出,错金银铁器不同锈层中均含有有害的可溶盐,这些锈蚀如不去除会造成基体酥粉,使精美的金银纹样解体。

对两件铁器可溶盐的脱出采用了冷热交替法,具体操作如下。

采用纯净水,配置0.005mol/L NaOH溶液,将除锈完成的器物放入0.005mol/L NaOH溶液中浸泡,让铁器中的氯化物等可溶盐、吸湿性盐溶解到水中

去。在浸泡过程中为促进可溶盐的析出,对溶液进行搅拌,并辅以冷热交替和超声波法促进。冷热交替法,采用加热棒加热容器内的水,水温达 60~70℃时即停止加热,自然冷却;之后再次加热、冷却循环,每日循环一至二次。为掌握可溶盐从铁器中溶解出来的情况,每次脱盐结束后,提取浸泡液,用硝酸酸化后,滴加硝酸银进行检测,若溶液中不再出现白色混浊,说明浸泡液及器物中氯离子含量已很少,并通过离子色谱分析(IC)分析^⑥,力求浸泡液中氯离子含量在 10mg/L 以下。

(四)粘接

粘接剂主要采用 914、AAA 等环氧树脂胶,粘接后先使用热熔胶固定,放置在沙盆中,待胶完全固化后再去除热熔胶。粘接剂还可以用于填补文物基体的裂隙,起到加固作用。

(五)补配

在确定形状的情况下,对残缺部分进行补配。补配材料选用速成铜胶棒等材料,具体根补配后将补配部分露在外面的一侧做旧,内侧仍旧保持材料的原色,以达到可识别性的保护修复原则。

(六)缓蚀

缓蚀剂采用 2%(W/V)单宁酸,将铁器浸泡在溶液中进行缓释,之后待铁器自然干燥。单宁酸可以与铁器表层锈蚀反应,形成黑色的保护膜,缓蚀同时还可以加深铁器基体的颜色,使之与金银丝片的装饰部分产生较大的色差,从而凸显金银装饰的艺术效



图一三 一号马具(P9:69)保护前后对比图



图一四 二号马具(P9:207)保护前后对比图

果。

(七)封护

封护剂使用天然虫白蜡。将虫白蜡加热融化后,加入少量松节油,反复涂抹并浸润,使蜡进入铁器基体内。在封护的同时,可以加深铁质部分的颜色,使之与纹饰的颜色形成鲜明的反差,突出错金银的效果。

(八)表面处理

最后在补配部分的表面,运用传统的作色工艺,使用虫胶漆调和矿物颜料随色,使补配部分表面与铁器色泽一致。

错金银铁质马具保护修复前后对比见图一三,图一四。

三、小结

2015年至2017年间,中国社会科学院考古研究所保护修复实验室对洛庄汉墓9号墓陪葬坑中出土的20余件错金银铁器进行了科学的保护修复,成功的恢复了他们的原貌,使这批文物的艺术价值和观赏价值得以提高。

保护修复后的这批文物是研究汉代铁器,特别是错金银铁器制作技术的活档案,可为汉代考古、手工业考古、科技考古工作者对山东地区铁器,以及错金银铁器的原料来源、冶炼技术、加工技术的研究提供实物和技术支持。

两件错金银铁质马具的保护修复过程是对错金银铁质文物价值再认识的过程,也是一个保存现状、病害程度再评估的过程。在两件文物保护修复方案制定初期,我们针对铁质文物病害特性,进行了科学系统分析。在文物的保护修复中,每一个节点的实施都有分析检测的支持。无论是保护、修复方法,还是材料应用均以保存文物基本信息延长文物寿命为原则。

保护修复前一号马具(P9:69)长13厘米、5厘米、厚0.7厘米,重111.19g。二号马具(P9:207)直径10.9厘米、厚0.8厘米,重135.14g。两件铁质文物的主要病害有矿化、残缺、裂隙、变形、孔洞、层状剥离、层状堆积、表面硬结物、瘤状物、点腐蚀。

保护修复过程中,由表及里的逐层进行,最外层坚硬的表面硬结物采用化学试剂与物理方法去除。次外层酥松锈蚀与内层致密锈蚀的去除采用先软化再剔除的方法。锈层中的可溶盐采用冷热交替法脱

出。当见到星星点点的金、银时严格参照X射线成照片,按照片中纹样的走向进行细致的处理,直至精美的图案得以再现。

由于两件铁质马具通体矿化,致使其成型工艺难以判断。通过三维视频显微镜对镶嵌金银部位进行观察,可见残留的平鏊沟槽。由此可以认为,沟槽的制作中运用了鏊刻工艺中平鏊和丝鏊技法,鏊刻前先勾勒出图案的大致轮廓形成起稿线,再使用丝鏊进行细部刻画。

经过修复后的两件马具,其造型和纹饰得以清晰展现。一号马具(P9:69)修复后重97.8g,长13厘米、宽9.3厘米、厚0.6厘米。该马具外轮廓大体呈心形,两侧中部内凹,其表面的错金银纹饰呈现为两个倒置心形的叠压造型。马具的正中有一个竖向的穿孔,正当上部心形下端的桃尖位置。心形图案的外缘为双线金丝以及其间细密的平行金丝短线。每个心形图案内按照空间特点设计了左右对称的双鹿图案,两组双鹿均作向左右两侧的奔跃造型。由于空间的不同,两对奔鹿造型也不同,上端一对奔鹿鹿首向前,四蹄动作幅度较小;而下端的一对奔鹿作回首状,四蹄伸展幅度较大。两对奔鹿的尾和角均根据所处空间的大小而设计,其中上端奔鹿的尾部延展为复杂的叶状造型,下端奔鹿的尾部则因空间局限而表现为卷曲的单线长尾。两对奔鹿的鹿角均因空间局限而表现为有几个短杈的长角造型。

二号马具(P9:207)重124.2g,直径10.8厘米、厚0.6厘米,其中心位置有一个长方形穿孔。这件圆形马具的边缘以金丝单线圆圈及其外侧的连续尖状纹组成,其内部图案是一方向相反的奔鹿。由于空间较大,奔鹿的身躯、四蹄以及尾、角均表现为相对复杂的设计,尤其是尾和角,两条云状鹿尾一直沿图案边缘延展到另一只鹿的头部附近,鹿角也表现为粗壮的枝杈造型。由于空间的限制,两只鹿的后腿均反向向上,虽与奔鹿的腿部实态不同,然而这一夸张设计却造成更加灵动的动态效果。

两件铁质马具图案的金银搭配做法相同,除鹿角和位于画面远端的双腿使用银质外,其余图案均为金质。整体纹饰线条流畅、自然,动物形象栩栩如生,是一对极为罕见的草原风格马具文物。根据它们的尺寸、造型以及穿孔设计来看,两件铁质马具可能均属马镫。它们的修复和图案及用途的认定,丰富了马具文物的造型种类,对于汉代马具的工艺技

术研究以及草原文化与内地的交往无疑提供了重要的实物资料。

附记:

参加保护修复的有杨小林、霍海峻、郭正臣、韩化蕊、岳超红、杨巍、李其良、王宇、侯凯博。照片由郭正臣、岳超红拍摄。分析检测、X射线成像等工作得到了北京大学考古文博学院的胡东波教授等大力支持。资料提供由山东省济南市文化局、崔大庸研究员。特此感谢!

注释:

①崔大庸、房道国、孙涛:《山东章丘市洛庄汉墓陪葬坑的清理》,《考古》2004年第8期

②乔梁:《洛庄汉墓所见北方草原文化的因素》,《中国文物报》2001年9月28日7版

③崔大庸:《洛庄汉墓9号陪葬坑出土北方草原风格马具试析》,《中国历史文物》2002年第4期。

④国家文物局:《馆藏铁质文物病害与图示》,文物出版社,2008年。

⑤中国社会科学院考古研究所、济南市考古研究所编:《山东济南魏家庄墓地出土铁器的保护与修复》,故宫出版社,2018年。

(责任编辑:刘慧中)