

马家塬墓地金制品的成分与制作技术 初步研究

黄 维^{1,2} 陈建立³ 吴小红³ 王 辉^{2,3} 周广济⁴

(1. 中国钱币博物馆研究信息部, 北京, 100031; 2. 北京大学中国考古学研究中心, 北京, 100871; 3. 北京大学考古文博学院, 北京, 100871; 4. 甘肃省文物考古研究所, 兰州, 730050)

甘肃张家川马家塬墓地出土了大量战国晚期金制品及残件, 为研究先秦金器制作技术提供了珍贵的实物资料。马家塬墓地的各类物质遗存表现出多种文化因素, 开展金制品制作技术的研究, 对于进一步探讨当时马家塬墓地所在地区与中原、北方草原、中亚、西亚的文化和技术交流有重要意义。

马家塬墓地出土的金制品种类多, 保存状况不一, 为了获取合金成分与制作技术的信息, 采用实物观察、无损测试与取样分析相结合的方式进行研究。实物观察与金相分析所用仪器为北京大学考古文博学院配备的德国莱卡 (Leica) 体视显微镜, 德国莱卡 (Leica) DM4000M 金相显微镜; 器物表面无损成分分析所用仪器为美国产 Thermo Scientific Niton XL3t 900 便携式 X 射线荧光能谱仪; 样品平均成分、微区成分分析所用仪器为清华大学摩擦学国家重点实验室购置的荷兰 Philip FEI Quanta 200 FEG 场发射扫描电子显微镜。

一、金制品的实物观察与金相组织

表一一是将各类金饰品 (共计 33 件), 直接置于体视显微镜下进行表面形貌和局部技术细节的观察结果, M16 金管饰、M14 金管饰 (M14: 4-11)、项饰 (M14: 4-3)、扇形饰 (M14: 4-4)、项坠 (M14: 4-13)、金坠 (M14: 4-10) 采用了锻打、打磨、卷曲、(金珠颗粒) 焊接、镶嵌宝石等技术, M16 小金珠 (4 个)、M16 小金环 (3 个) 均为锻打制成, M14 小金帽 (2 个)、M16 墓主人头部金帽 (2 个)、M16 墓室棺盖西南角金帽 (3 个)、M16 金帽 (1 个)、金珠 (M14: 4-6)、金圆片 (M14: 4-2) 均采用锻打、打磨、冲压制成, 金环 (M14: 4-1)、M16 墓室棺盖西南角金片均为锻打、打磨制成, M16 金片采用了锻打、打磨、篆刻技术, 金带钩 (M14: 9、M14: 15) 为铸造、打磨而成, 金兽头饰 (M14: 11)、金花腰带饰 (M14: 5-1)、M57 金花腰带饰采用了锻打、打磨、模压工艺, 金花腰带饰

(M14:5-8、M14:5-12) 则采用了锻打、打磨、模压、镶嵌宝石和颜料等工艺。

M57 墓主人头部附近, 出土金耳环 (其上有金珠颗粒)、金管与“S”形饰件焊接在一起的项饰、扇形饰、表面有金珠颗粒焊接成三角形锯齿状金管饰等, 这些器物的技术特征都与上述同类金制品极为相近, 应是采用相同的技术制成的。

根据上述分析, 除 M14 出土的两件金带钩为铸造外 (现场观察发现 M16 墓主人骨附近的金带钩也为铸造而成), 其余各类金饰品的主体部分及附件均为锻打而成 (形态微小的小金环和中空的圆柱状小金珠也不例外), 这些金制品是先制成金箔 (或金丝), 然后经卷曲、打磨、模压、冲压、焊接等技术所得, 金花腰带饰和金耳环还利用了镶嵌颜料和宝石工艺。在现场观察还发现 M16 墓主人右手附近的金臂钏还使用了掐丝技术——将锤打成极薄的金片剪成细条, 慢慢扭搓成双股线, 然后焊接而成。表二是用扫描电镜测量所得的金片厚度数据, 在样品不同部位测量多次, 从表中可以看出, 每个金片样品的厚度并不是绝对均匀的, 残铁饰上金片 (M6 盗洞, 73012G) 的厚度在 44.21 ~ 52.98 μm 之间, 残铁片上金片 (M6:12, 73013) 的厚度在 55.70 ~ 60.80 μm 之间, 残铁片上金片 (M15:6, 73025) 的厚度在 53.11 ~ 57.71 μm 之间, M16 墓室棺盖西南角金片 (73193) 的厚度在 55.45 ~ 67.50 μm 之间, 它们的平均厚度主要分布在 50 ~ 60 μm 之间。

表一 金制品实物观察结果 (无实验编号的样品为现场观察)

实验编号	名称及编号	实物观察结果	制作工艺
	金花腰带饰 (M14:5-1)	金箔锻打而成, 有纹饰印痕, 表面经过了抛光, 四周有穿孔	锻打、打磨、模压 (图一、图二)
	金花腰带饰 (M14:5-8)	金箔锻打而成, 有纹饰印痕 (先打磨表面再模压), 镶嵌朱砂、绿松石, 四角各穿两个小圆孔	锻打、打磨、模压、镶嵌宝石和颜料 (图三)
	金花腰带饰 (M14:5-12)	金箔锻打而成, 表面抛光、有纹饰印痕, 内嵌朱砂 (诸多金花腰带饰的制作工艺均与此相同)	锻打、打磨、模压、镶嵌颜料
	金花腰带饰 (M57)	金箔锻打而成, 表面抛光、有纹饰印痕	锻打、打磨、模压
	金带钩 (M14:9)	局部放大后可见树枝晶基体组织, 外表面经过了打磨, 细节处 (凹坑内) 都有打磨痕迹	铸造、打磨
	金带钩 (M14:15)	局部放大后可见树枝晶基体组织, 外表面经过了打磨, 细节处 (凹坑内) 都有打磨痕迹	铸造、打磨 (图四)
	金环 (M14:4-1)	表面有锻打裂纹, 中空、表面抛光	锻打、打磨 (图五、图六)
	金兽头饰 (M14:11)	金箔锻打而成, 有纹饰印痕, 外表面抛光	锻打、打磨、模压
	金圆片 (M14:4-2)	表面有锻打印痕, 正面抛光, 四周有 4 个小穿孔	锻打、打磨、冲压 (图七)
73177	M16 小金环 (3 个)	椭圆状, 长轴约 0.75cm, 短轴 0.4 ~ 0.45cm, 宽约 1.5mm, 厚度小于 1mm, 合拢处没有完全吻合。其中一个小金圈的端口连接处一侧有砍砸痕	(金丝或金线) 锻打

续表

实验编号	名称及编号	实物观察结果	制作工艺
	扇形饰 (M14:4-4)	多个管状金饰焊接在一起,中间有焊料堆积,器表抛光	锻打、卷曲、打磨、焊接(图八)
	扇形饰 (M6:46)	多个管状金饰焊接在一起,中间有焊料堆积,金珠颗粒,器表抛光	锻打、卷曲、打磨、金珠粒、焊接(图九)
	项饰 (M14:4-3)	5个金管与4个“S”形饰件焊接在一起形成,上、下底部用细金箔条焊接在一起,表面经过了打磨,通长约2.9cm、宽约0.9cm。金管长约9mm,孔径约1mm,为金箔卷曲而成;“S”形饰件长约6mm,卷曲成“8”字形。管饰和“S”形饰之间有明显的焊料堆积	锻打、打磨、卷曲、焊接。金箔卷曲成金管,“S”形饰可能为锻打而成,然后焊接(图一〇、图一一)
	金项坠 (M14:4-13)	从上至下依次为:圆环形绿松石、四周有金珠颗粒的小金圆片、玛瑙、四周有金珠颗粒的小金圆片、绿松石圆环、倒立“品”字形金珠颗粒(较大,为葡萄串形)	锻打、金珠颗粒焊接,镶嵌宝石(图一二)
	金坠 (M14:4-10)	主体部分为两段合拢而成,经过抛光,尾部三个较大的金珠颗粒大致在同一平面	锻打、打磨、金珠颗粒焊接
	M14 金管饰 (M14:4-11)	管状金饰表面两端焊接有细密的金珠颗粒,呈锯齿状三角形排列,金管长约7mm,孔径约2mm,金珠颗粒的直径0.4~0.5mm。金珠颗粒之间有明显的焊料堆积,个别金珠颗粒存在形变	锻打、打磨、卷曲、金珠颗粒焊接。先将金箔打磨后卷成圆柱状的金管,然后在金管上对称地焊上金珠颗粒(图一三~图一五)
73173	M16 金管饰	金管长0.4~0.5mm,孔径约1mm,壁厚略小于1mm,外表面可见打磨痕,两端突起被打平,侧面有未完全合拢的连接痕。圆柱状金管上对称分布4列球状小金珠,每列从上往下有3个品字形的小金珠阵列(其中有一个没有焊成品字形,呈三角锥形排列)。“品”字形金珠(直径约0.5mm)与管面基座有凹坑或突起(部分区域略微泛红色),金珠和基座连接处还有焊接熔化造成的缺陷	锻打、打磨、卷曲、金珠颗粒焊接。先将金箔打磨后卷成圆柱状的金管,两端开口磨平,然后在金管上对称地焊上金珠颗粒(图一六)。M14、M16金耳环上也焊接有金珠颗粒(图一七),具体工艺见后文
73175	M16 小金珠 (4个)	呈圆柱状,中空。孔径约1mm,高约1mm。圆柱侧面可见合拢缝隙	(金丝或金线)锻打
	金珠 (M14:4-6)	高约7mm,表面经过了抛光,两端小孔直径1~1.3mm,两半锻打合拢而成(可能是加热直接锻打,自然融合在一起),顶部和底部各有穿孔一个(向外),先打磨再穿孔	锻打、打磨、冲压(图一八)
73022	M14 小金帽	口径0.5mm。外表面有明显的打磨痕迹(内表面无),帽檐的打磨痕迹呈圆弧线定向有序排列,帽顶打磨痕迹交叉分布。帽檐2个小孔对称分布(孔径约1mm)。2个小孔的边缘均向内卷曲,帽檐打磨痕也随冲孔边缘向内弯曲延伸	锻打、打磨、冲压。先将金箔冲压成金帽,然后打磨帽檐和帽顶(帽沿圆周方向打磨,帽顶沿径向和垂直径向交叉打磨,金帽内部没有打磨),再在帽檐上自外向内冲出2个小孔

续表

实验编号	名称及编号	实物观察结果	制作工艺
73188	M16 墓主人 头部金帽 (2 个)	(1) 口径 0.8 ~ 0.9mm。外表面有明显的打磨痕迹 (内表面无), 帽檐的打磨痕迹呈圆弧线定向有序排列。帽顶打磨痕迹交叉分布, 内表面可见冲压工具留下的清晰印痕。帽檐 4 个小孔对称分布 (孔径约 1.5mm), 靠近小孔的地方有开裂现象。4 个冲孔的边缘均向外卷曲, 帽檐打磨痕也随冲孔边缘向外弯曲延伸	锻打、打磨、冲压。先将金箔冲压成金帽, 然后打磨帽檐和帽顶 (帽沿圆周方向打磨, 帽顶沿径向和垂直径向打磨, 金帽内部没有打磨), 再在帽檐上自内向外冲出 4 个小孔
		(2) 口径约 0.5mm, 周身有多处较大裂痕。外表面有明显的打磨痕迹 (内表面无), 帽檐的打磨痕迹呈圆弧线定向有序排列。帽顶打磨痕迹交叉分布。帽檐有 2 个小孔对称分布 (孔径约 1mm)。2 个冲孔的边缘均向内卷曲, 帽檐打磨痕也随冲孔边缘向内弯曲延伸	锻打、打磨、冲压。先将金箔冲压成金帽, 然后打磨帽檐和帽顶 (帽沿圆周方向打磨, 帽顶沿径向和垂直径向打磨, 金帽内部没有打磨), 再在帽檐上自外向内冲出 2 个小孔
73192	M16 墓室棺盖 西南角金帽 (3 个)	(1) 口径约 0.4cm。外表面有明显的打磨痕迹 (内表面无), 帽檐的打磨痕迹呈圆弧线定向有序排列; 帽顶靠边缘部位的打磨痕有的沿径向、有的沿垂直径向排列, 略带弯曲。帽顶有轻微裂隙, 中心部位较边缘打磨痕少。帽檐有 4 个小孔对称分布 (孔径 0.5 ~ 1mm), 冲孔边缘均向内卷曲, 帽檐打磨痕迹也随冲孔边缘向内弯曲延伸	锻打、打磨、冲压。先将金箔冲压成金帽, 然后打磨帽檐和帽顶 (帽沿圆周方向打磨, 帽顶沿径向和垂直径向打磨且中心部位轻微打磨, 金帽内部没有打磨), 再在帽檐上自外向内冲出 4 个小孔 (图一九、图二〇)
		(2) 口径 0.4 ~ 0.5cm。外表面有明显的打磨痕迹 (内表面无), 帽檐的打磨痕迹呈圆弧线定向有序排列; 帽顶打磨痕沿径向交叉分布; 帽顶有裂隙。帽檐一侧有合拢重叠缝隙, 2 个小孔对称分布 (孔径约 1mm), 冲孔边缘均向内卷曲, 帽檐打磨痕迹也随冲孔边缘向内弯曲延伸	锻打、打磨、冲压。先将金箔冲压成金帽, 然后打磨帽檐和帽顶 (帽沿圆周方向打磨, 帽顶沿径向交叉打磨, 金帽内部没有打磨), 再在帽檐上自外向内冲出 2 个小孔
		(3) 口径约 0.4cm。外表面有明显的打磨痕迹 (内表面无), 帽檐的打磨痕迹呈圆弧线定向有序排列, 但部分区域打磨不均匀; 帽顶打磨痕有的沿径向、有的沿垂直径向排列, 还有的偏斜。帽檐有裂隙, 2 个小孔对称分布 (孔径约 1mm)。冲孔边缘均向内卷曲, 帽檐打磨痕迹也随冲孔边缘向内弯曲延伸	锻打、打磨、冲压。先将金箔冲压成金帽, 然后打磨帽檐和帽顶 (帽沿圆周方向打磨, 帽顶沿径向和垂直径向打磨, 金帽内部没有打磨), 再在帽檐上自外向内冲出 2 个小孔

续表

实验编号	名称及编号	实物观察结果	制作工艺
73178	M16 地上金帽	帽檐呈方形，口径0.5~0.6cm。外表面有明显的打磨痕迹（内表面无），帽檐的打磨痕迹呈圆弧线定向有序排列，帽顶沿一个方向打磨。帽檐有2个小孔对称分布（孔径约1mm），开口方向不同。冲孔边缘均向内卷曲，帽檐打磨痕迹也随冲孔边缘向内弯曲延伸	锻打、打磨、冲压。先将金箔冲压成金帽，然后打磨帽檐和帽顶（帽沿圆周方向打磨，帽顶沿一个方向打磨，金帽内部没有打磨），再在帽檐上自外向内、自内向外分别冲出2个小孔
73196	M14 地上金帽	口径约0.8cm。外表面有明显的打磨痕迹（内表面无），帽檐的打磨痕迹呈圆弧线定向有序排列，少部分区域打磨不均匀或有缺陷；帽顶打磨痕有的沿径向、有的沿垂直径向交叉排列，内表面可见冲压工具留下的清晰印痕。帽檐有2个小孔对称分布（孔径约1mm），冲孔边缘均向内卷曲，帽檐打磨痕迹也随冲孔边缘向内弯曲延伸	锻打、打磨、冲压。先将金箔冲压成金帽，然后打磨帽檐和帽顶（帽沿圆周方向打磨，帽顶沿径向和垂直径向打磨，金帽内部没有打磨），再在帽檐上自外向内冲出2个小孔
73174	M16 地上金片	一侧有明显的打磨痕，边缘部位规整平滑，有加工留下的印痕	锻打、打磨、篆刻。金片经打磨
73193	M16 墓室棺盖西南角金片	金片一侧有类似铁锈的附着物，另一侧有红色铁锈但可见明显的打磨痕定向排列	锻打、打磨

表二 金片、金箔的厚度（扫描电镜测量，单位：微米）

实验编号	样品	原编号	不同部位厚度		
73012G	残铁饰上金片	M6 盗洞	50.71	52.98	44.41
73013	残铁片上金片	M6:12	58.18	55.70	60.80
73025	残铁片上金片	M15:6	57.71	53.11	57.29
73193	墓室棺盖西南角金片	M16	67.50	55.45	



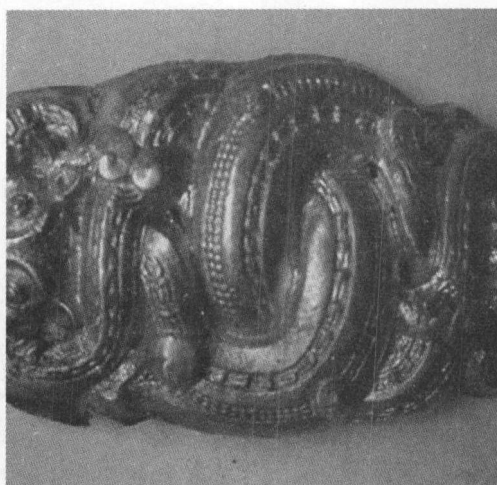
图一 金花腰带饰（M14:5-1）正面



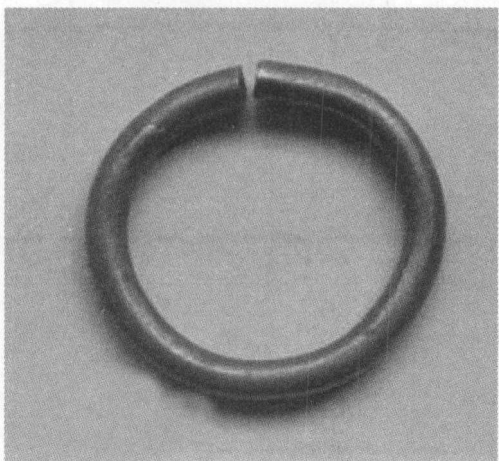
图二 金花腰带饰（M14:5-1）背面



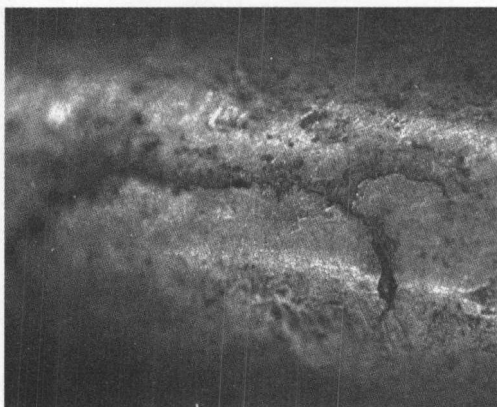
图三 金花腰带饰 (M14) 正面



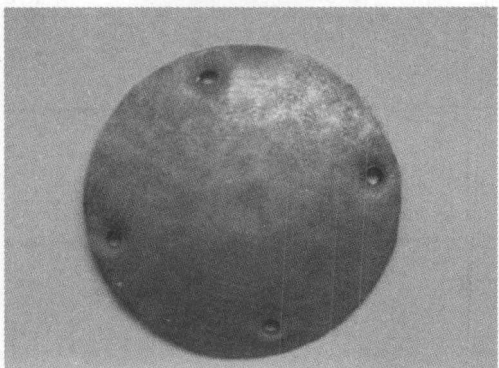
图四 金带钩 (M14:15) 局部细节



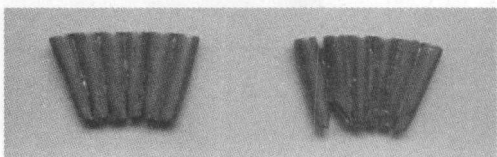
图五 金环 (M14:4-1)



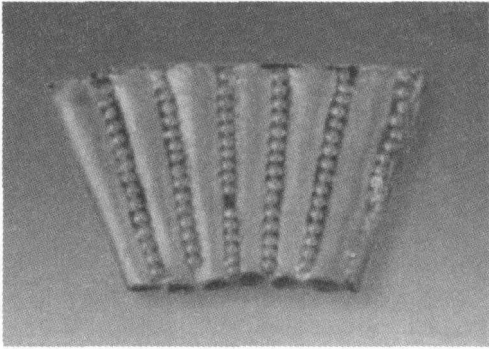
图六 金环 (M14:4-1) 表面锻打裂纹及磨痕



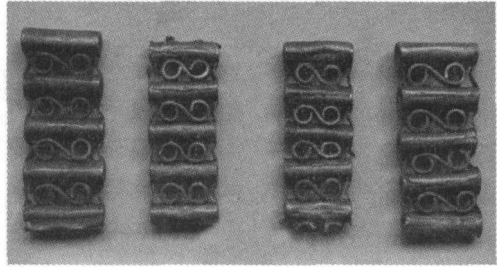
图七 金圆片 (M14:4-2) 表面



图八 金扇形饰 (M14:4-4)



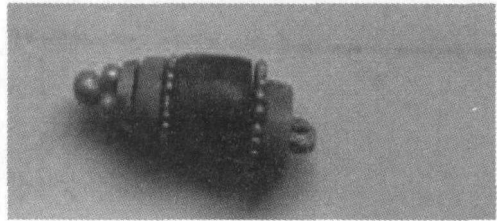
图九 金扇形饰 (M6:46)



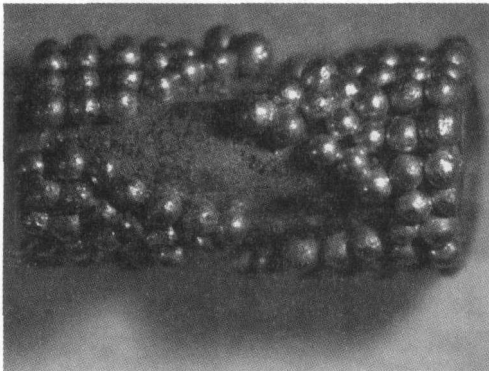
图一〇 金项饰 (M14:4-3)



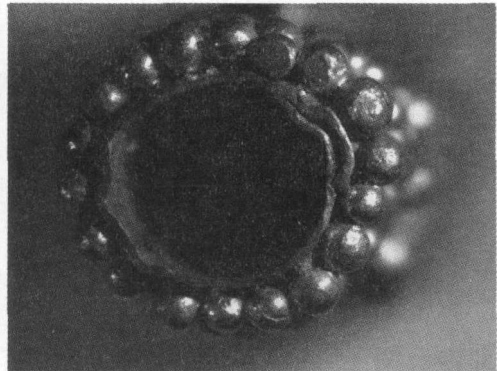
图一一 金项饰 (M14:4-3) 组件局部细节



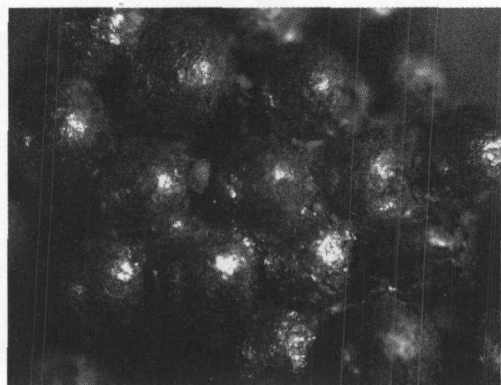
图一二 金项坠 (M14:4-13)



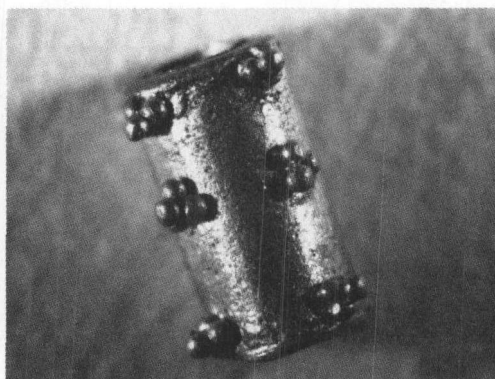
图一三 金管饰 (M14:4-11) 表面



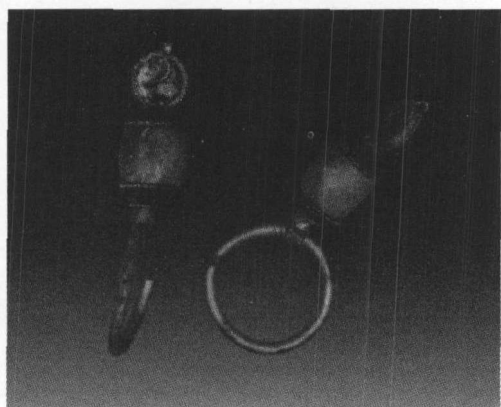
图一四 金管饰 (M14:4-11) 管口形貌



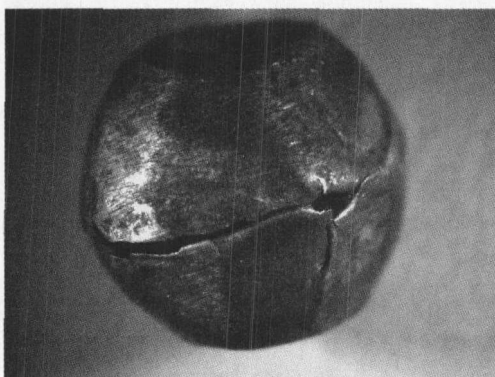
图一五 金管饰 (M14:4-11) 表面金珠颗粒



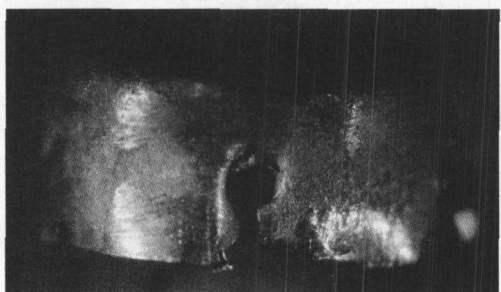
图一六 金管饰 (M16)



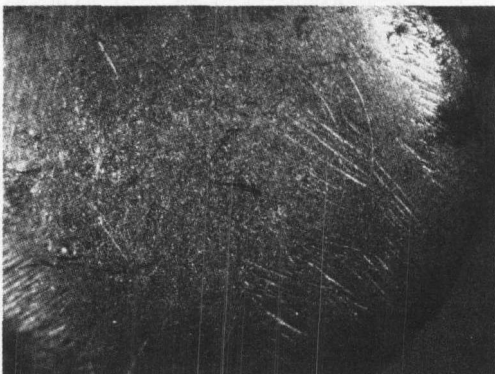
图一七 金耳环 (M16)



图一八 金珠 (M14:4-6) 表面裂痕及打磨痕



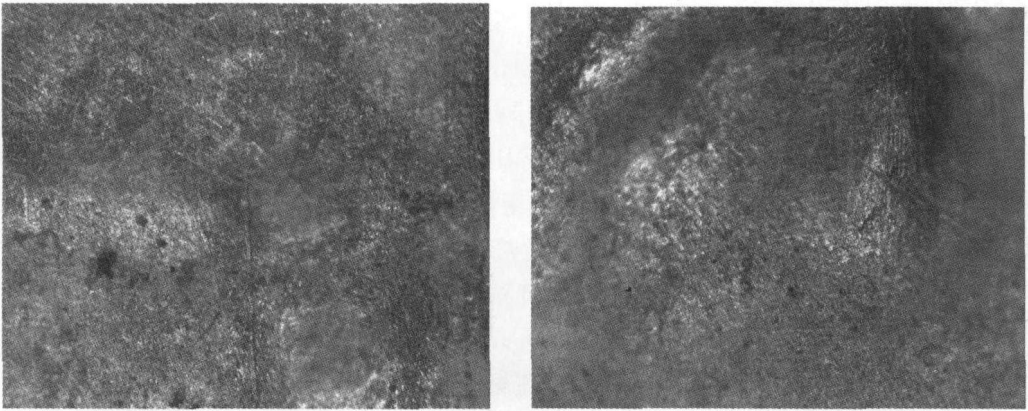
图一九 小金帽侧面冲孔 (M16)



图二〇 小金帽 (M16) 表面打磨痕

一些典型金制品的主要制作工艺可推测如下：

金箔、金片类（含镂空饰品）：先将金块放在炉火上加热，变红后从炉火中取出放在铁砧上用锤锤打，当金块变成暗红色时停止捶打，并重复上述操作多次，直到打成所需要厚度为止（即采用这种工艺所留下的锻打和退火的金相组织）；对金箔或金片进行打磨、抛光后，接着用錾子錾刻出表面纹样，主要有两类，一类錾头略圆不锋利，錾刻较圆润的纹样，不至于把较薄的金银片刻裂（图二一），另一类錾头锋利如凿子，錾出较细腻的纹样，镂空也是一种錾刻方法，即把不需要的部分直接錾刻掉而形成透空的纹样。



图二一 金饰片（M14-42）表面打磨痕（左）与錾刻痕（右）

金花腰带饰（图一～图三）：将金箔或金片打至所需厚度，进行打磨、抛光，采用模压的方法加工成形，再将不需要的部分錾刻掉形成镂空纹样；在这个过程中，如需镶嵌宝石或颜料，就在模压时选择特定形状（带槽或坑）模子预留出空缺部分以进行填充^①。

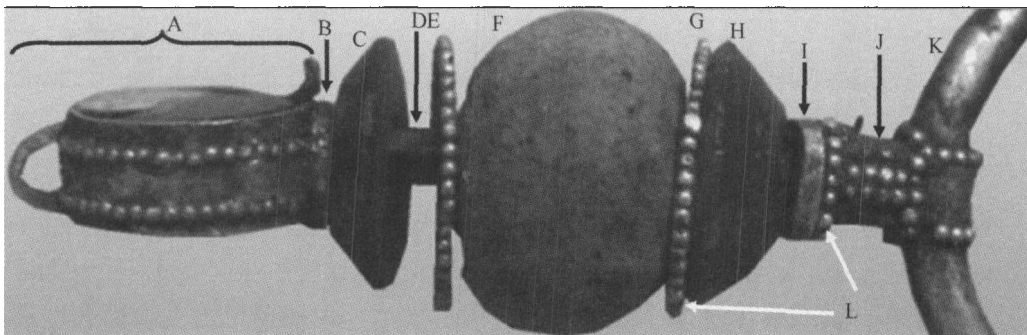
金帽（图一九、图二〇）：将金箔打制好后，用模具进行冲压，然后在侧面和帽顶分别打磨、抛光，再在两侧冲出两个小孔。

金珠颗粒制品（如 M6 金扇形饰、M14 和 M16 金管饰，图九、图一二～图一七）。先完成各个组件的生产——小金管为金箔锻打后卷曲成中空形状，并进行打磨、抛光，金珠颗粒有多种制作方法^[1]，方法之一是将金丝切成长度相等的小段，放在木炭粉中加热熔聚成自然浑圆的颗粒，准备含银相对较高的金焊料碎屑或粉状物，可用黏合剂（在现场考察过程中，发现内金外银、内银外金的背面，牌饰背面，料珠表面，金带钩背面等有白色或黑色的物质，可能为黏合剂）与焊料混合后，将金珠颗粒黏在小金管上面排列成特定的图案，然后加热进行焊接而成。这种焊接技术需要精密的温度控制和丰富的经验。

① 笔者认为采用该方法制作的可能性较大，还有待深入研究。

M14 金项饰 (图一〇、图一一) 的主要制作工艺也与金珠颗粒制品类似, 先准备好各个组件——小金管、“S”形饰件、细长的金片, 然后用混合了焊料的黏合剂将它们黏接在一起进行焊接。

金项坠 (图一二)、金耳环 (图一七) 的制作较为复杂, 综合了多种技术, 工艺流程大体相同。以 M14 金耳环为例 (图二二为局部放大), 可将其分解为至少 12 个部分 (A~L): A 部分为圆环状金片卷曲而成, 表面的金珠颗粒是如前所述焊接上去的, 内部还嵌有“S”形金片将其隔成两部分以填充所需颜料, 顶部的半圆形金环片可以通过焊接或嵌入主体部分; B 部分为单独的中空小金环, 可以通过锻打制成; C 部分为中空圆台形玛瑙; D 部分为与 A 相连的金杆状组件, 延伸至 J 部分, 可以通过焊接或嵌入的方式与 A 部分结合在一起; E 为中间有圆孔的小金片, 周围焊接了金珠颗粒; F 为中空扁状陶珠 (M16 金耳环的该部分为绿松石); G、H 分别与 E、C 相同; I 部分为与 B 形制相似的中空小金环; J 部分连接金杆 D 与大金环 K, 表面焊接有金珠颗粒; L 为表面的金珠颗粒。工艺流程大致为, A~L 组件全部制作完成后, 依次将 B、C、E、F、G、H、I 套入金杆 D, K 部分套入 J 部分后整体接入 D; J、K 部分还可以有其他的组接方式, 如将 J 接入 D (套入压紧或焊接均可), 然后再将 K 套入 J 部分进行焊接而成。



图二二 金耳环 (M14) 局部放大

马家塬墓地出土的金制品中, 有少量金饰件残片, 选择金片、小金环、金人面饰和腰间金饰品等 10 件样品, 用酚醛树脂镶嵌, 经打磨、抛光后经王酸侵蚀观察金相组织, 结果表明这些样品基体纯净, 均呈现再结晶的等轴晶粒与孪晶, 说明这些金饰件经过了加工 (热锻或冷加工后退火)。

二、金制品扫描电镜能谱成分分析

利用扫描电镜能谱对 3 件金制品实物 (金帽、金珠) 和 10 件金制品 (残铁片上金片, 墓中散落金片、金人面饰残片、小金环、腰间金饰残片) 的金相样品进行了微区成分分析, 结果见表三和表四。

表三 金帽与金珠实物扫描电镜能谱分析结果

名称及编号	检测部位	合金成分 (wt%)		
		Ag	Au	Cu
金帽 (M14, 73196)	外表面	10.1	87.9	2.0
金珠 (M14:4-6)	外表面上	34.3	64.0	1.8
	外表面下	26.4	71.0	3.7
金珠 (M16, 73175)	外表面	18.4	81.6	

表四 金制品微区成分扫描电镜能谱分析结果

实验编号	名称	分析方式	合金成分 (wt%)					
			Ag	Au	Cu	Sn	Fe	Pd
73012G	M6 盗洞残铁饰上金片	面扫描 1	10.7	87.8	1.5			
		面扫描 2	11.3	87.3	1.4			
		面扫描 3	11.4	87.3	1.3			
		平均成分	11.1	87.5	1.4			
73013	M6:12 残铁片上金片	面扫描 1	8.9	86.3	3.1	0.9	0.7	
		面扫描 2	10.1	85.3	3.4	0.8	1.1	
		平均成分	9.5	85.8	3.3	0.9	0.9	
73023	M14 残铁片上金片	面扫描 1	11.3	87.4	1.4			
		面扫描 2	10.7	87.7	1.6			
		平均成分	11.0	87.6	1.5			
73025	M15:6 残铁片上金片	面扫描 1	13.9	80.7	3.4	1.2	1.0	0.8
		面扫描 2	14.0	83.5	1.7		0.8	
		平均成分	14.0	82.1	2.6	1.2	0.9	0.8
73174	M16 金片	面扫描 1	15.7	84.3				
		面扫描 2	15.6	84.4				
		平均成分	15.7	84.4				
73177	M16 小金环	面扫描 1	11.2	87.7	1.1			
		面扫描 2	11.0	88.3	0.7			
		平均成分	11.1	88.0	0.9			

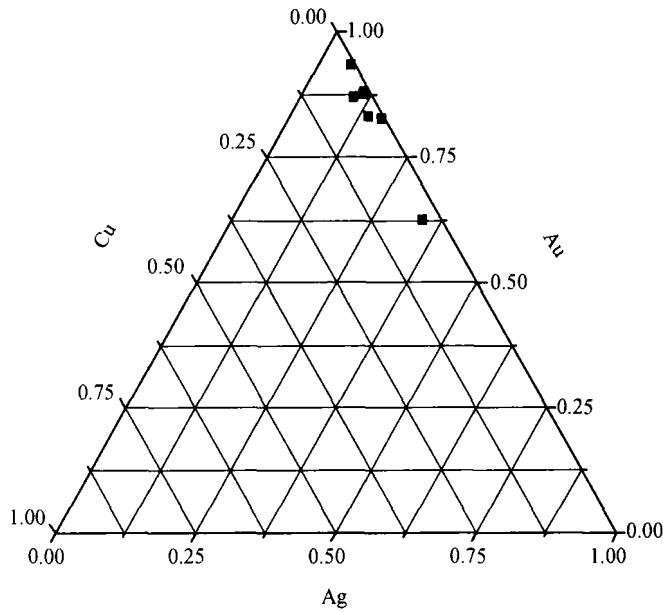
续表

实验编号	名称	分析方式	合金成分 (wt%)					
			Ag	Au	Cu	Sn	Fe	Pd
73184	M6: 172 金人面饰 残片	面扫描 1	16.9	83.6	0.6			
		面扫描 2	16.7	82.9	0.4			
		平均成分	16.8	83.3	0.5			
73185	M15:3 金饰品	面扫描 1	5.6	93.4	1.0			
		面扫描 2	5.9	93.8	0.3			
		平均成分	5.8	93.6	0.7			
73189	M15:3 腰间 金饰品	面扫描 1	6.8	93.2				
		面扫描 2	7.5	93.5				
		平均成分	7.2	93.4				
73193	M16 墓室棺盖 西南角金片	面扫描 1	34.8	63.8	3.4			
		面扫描 2	34.6	63.3	3.1			
		平均成分	34.7	63.6	3.3			
		明亮区域 3	33.5	63.8	3.7			
		发暗区域 4	37.8	59.5	3.7			
37.2	58.3		Cu3.6 Si.9					

表三为金帽与 2 件金珠实物的表面合金成分数据, 金帽 (M14, 73196, 形制与图一九相似) 含银 10.1%、铜 2.0%, 金珠 (M14: 4-6, 图一八) 分析上下两个不同部分, 铜含量分别为 1.8%、3.7%, 银含量分别为 26.4%、34.3%, 合金成分不一致说明可能是两块不同的金片锻打制成的, 而金珠 (M16, 73175, 形制与图一八相似) 不含铜, 这 3 件金制品都不是纯金, 且含有少量的铜 (3% 以下), 纯度在 64%~90% 之间, 3 件金制品的合金成分不一致。

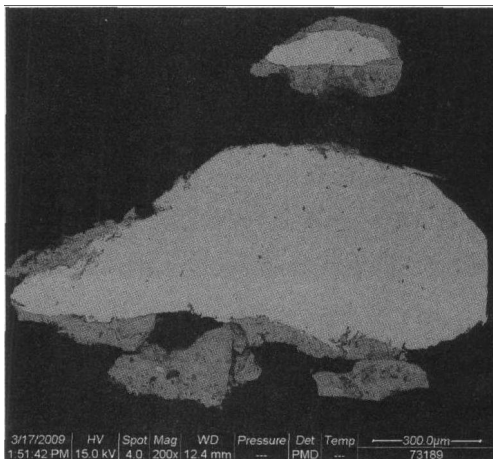
表四是对金饰残片金相样品的成分分析结果, 合金成分有如下特点: ①除 73174 (M16 金片) 和 73189 (M15:3 腰间金饰品) 两个样品未检测出铜外, 其余都含少量铜, 仅有两件样品平均铜含量为 3.3%, 其余的样品铜含量分布在 0.5%~2.6% 之间; ②银含量主要分布在 5.8%~16.8% 之间, 仅 M16 墓室棺盖西南角金片 (73193) 样品平均银含量高达 34.7%; ③M6: 12 残铁片上金片 (73013)、M15: 6 残铁片上金片 (73025) 含少量铁、锡、钯元素, 可能是金中的杂质元素或制作金器过程中其他杂质的污染, 原因有待进一步研究; ④在这 10 件样品中, 腰间金饰品 (73189) 和金饰品 (73185) 的含金量分别为 93.4%、93.6%, 比其他金饰件 (含金 63%~88%) 高。

金制品的总体成分特征如图二三所示, 这些金制品并非纯金, 银含量多数在 5%~17%, 仅一件样品为 34%, 铜含量主要在 3% 以下, 个别样品含铜为 3.3% 或有其他杂质。由于取样分析的样品较少, 不同墓葬之间金制品的合金成分未见明显差异。



图二三 扫描电镜能谱分析金制品合金成分特点

有两件样品值得注意：73189（M15:3 腰间金饰品，图二四），周围灰色相为纯铅，但中间金制品基体并不含铅，从图中可以看出铅与金是附着在一起的，根据取样情况判断，铅应是金饰品背面的附着物——黏合剂。73193（M16 墓室棺盖西南角金片），在用扫描电镜进行微区成分分析时发现存在银的偏析现象，如图二五所示，中间可见一块较周围基体更暗的带状区域，为银和铜的成分偏析所致，其银含量较基体高约4%，金含量较基体低约4%，还有约3.6%的铜及少量的硫（可能为银的锈蚀产物成分），这可能是不同的自然金或不纯的金混合在一起熔炼引起的。



图二四 腰间金饰品（73189）背散射电子像



图二五 金片（73193）背散射电子像

三、金制品 X 射线荧光成分分析

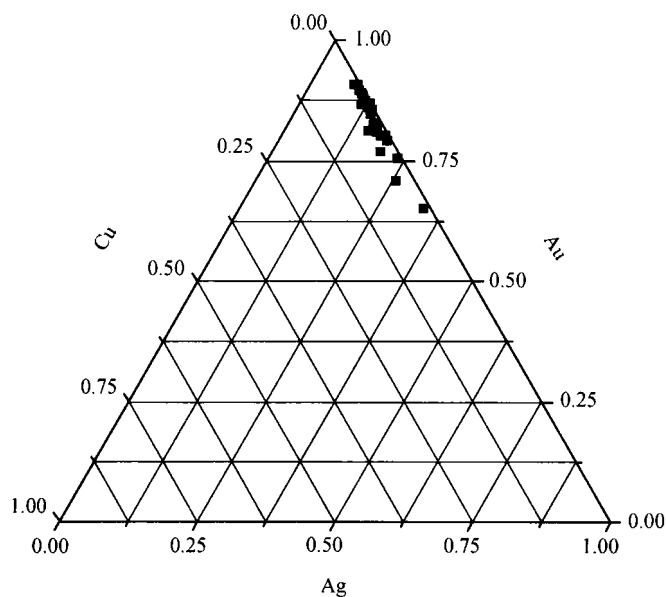
由于能取样分析的金制品不多,更多金制品的成分分析直接在现场进行,用酒精除去器物表面的污物,采用 Niton XL3t 900 便携式 X 射线荧光能谱仪,对 M1、M3、M6、M14、M16、M57 出土的金箔类饰品、耳环、项圈、带扣、腰带饰、牌饰、包金泡饰、带钩等车马饰和装饰品进行了合金成分分析,所得结果见表五。未归一化的成分数据为少量杂质或仪器未检出元素,这不影响金制品中金、银、铜主量元素的成分。

表五 金制品合金成分 XRF 分析结果

墓号	器类	名称	合金成分 (wt%)		
			Ag	Au	Cu
M1	车马饰	M1:88 包金铜泡上金箔	17.9	79.3	1.6
		M1L:73 金银箔车饰件	15.4	80.7	1.9
		M1:91 金箔残片	25.1	69.4	3.4
M3	车马饰	M3:13 金虎 (测两面)	10.9	86.9	0.7
		M3L:28 十字形金箔饰件	9.6	88.5	0.6
M6	车马饰	M6:183 外金内银内扣	16.6	81.1	1.2
		M6:184 环形饰	33.5	64.9	1.4
M14	装饰品	M14:7 金耳环坠	15.7	74.2	1.7
		M14:9 左手金带钩	11.0	83.7	1.8
		M14:15 右手金带钩	10.7	87.7	
	车马饰	M14 车轭上金箔	19.4	75.8	3.2
		M14 三角金饰片	19.7	78.6	0.9
M16	装饰品	M16 金项圈	12.8	83.6	0.4
		M16 金带扣	8.9	88.8	0.6
		M16 金牌饰 1	13.0	81.2	0.8
		M16 金牌饰 2	9.2	86.0	0.8
		M16 金牌饰 3	14.0	83.8	1.3
		M16 金牌饰 4	10.2	86.0	0.5
		M16 金片饰	13.7	83.2	0.3
		M16 头顶金饰	8.3	89.9	1.0
	车马饰	M16 手附近金片	8.6	86.8	0.4
		M16 漆器上金片	15.4	81.4	
		M16 车轭上金片 1	18.4	77.4	0.7
		M16 车轭上金片 2	22.9	73.3	0.9
		M16 车轮附近金片 1	13.1	85.1	0.5

续表

墓号	器类	名称	合金成分 (wt%)		
			Ag	Au	Cu
M16	车马饰	M16 车轮附近金片 2	15.3	81.0	3.3
		M16 车轮附近金片 3	15.4	81.8	1.2
		M16 车轮附近金片 4	13.1	83.8	0.7
		M16 金兽	11.8	86.3	0.7
		M16 铜泡上包金 1	15.1	84.9	
		M16 铜泡上包金 2	14.3	86.7	
		M16 铜泡上包金 3	14.9	85.1	
		M16 铜泡上包金 4	14.2	85.8	
		M16 铜泡上包金 5	15.3	84.7	
		M16 长条状金片	11.3	88.7	
		M16 金虎箔片	8.1	92.4	
M57	装饰品	M57 墓主人腰间金带饰 1	8.6	91.4	
		M57 墓主人腰间金带饰 2	7.9	91.1	
		M57 墓主人腰间金带饰 3	10.1	89.9	



图二六 X 射线荧光能谱分析金制品合金成分特点

金制品的成分特征见图二六，这些金制品不是纯金，主要成分为金和银，还含有少量的铜，金含量分布在 64.9%~93.7% 之间，银含量分布在 7.3%~33.5% 之间，金、银成分数值起伏较大，铜含量主要分布在 0~3%（仅 M1、M14、M16 中共 3 个样品含铜

为 3.2%~3.4%)。通过对金、银含量的统计分析发现,检测样品越多的墓葬其成分数值离散程度越大,如 M16 金制品的银含量数据较分散,在 7%~23% 之间;M1 金制品的银含量在 15%~25% 之间。各个墓葬之间金、银含量数值具有随机性,金制品的银含量无明显规律。

因此,不同类别的金制品、不同墓葬中的金制品、同一墓葬中不同类别的金制品,合金成分的数值没有明显规律,说明金制品并无特定的合金配比。这些金制品的纯度并不高(仅 3 件器物的纯度达 91%,绝大多数纯度在 74%~90% 之间)、含有少量的杂质铜。

四、马家塬墓地金制品的技术特征

从器物来研究金银制品的冶炼技术、合金配比与制作工艺,其结果是建立在合金成分、微区成分、微观结构、实物观察等技术分析基础之上,其中主、次量元素成分的数值大小及其在金银制品中的分布状态成为判定冶炼技术及加工工艺的关键技术指标。对早期金制品进行研究,需要正确区分自然金与人工冶炼所得金制品的成分差别,并从时代和地理位置上准确把握人工冶炼、提纯所得金银制品的总体成分与制作工艺特点。目前为止对先秦时期金制品的技术研究并不多见,对自然金、人工金制品的合金成分缺乏系统的比较研究。为此,本节将系统总结世界各地自然金的成分数据特点,欧亚大陆早期金制品的成分特点^[2],以便准确、合理地解释马家塬墓地出土金制品的成分特点,并揭示相关的合金配比与制作工艺。

自然金主要有砂金和脉金两种,前者由于风化、水流的冲积作用在河床和沙砾中较为常见,而后者主要存在于石英脉中,除此之外,在黄铁矿、闪锌矿、黄铜矿等各类其他载金矿物中也发现有自然金。自然金的成分因成矿时间和所处地理位置的差异表现出不同的特点,其主要成分为金、银、铜,几乎所有的自然金都含银,且银含量的变化范围很大,但主要分布在 5%~40% 之间(银含量达到 20% 以上也称为银金矿)。自然金中除银之外还有铜,含铜量通常小于 1%,Tylecote 认为含铜量通常小于 1%^[3]。

在南方地区,福建省两处金矿的自然金中,金含量集中分布在 68%~96% 之间,银含量在 4%~31% 之间,铜含量在 0.1% 以下,有的不含铜;江西与湖南的自然金,金含量在 92%~100% 之间,银含量从 0~7% 不等,铜含量小于 0.1%。河北自然金,金含量在 68%~96% 之间,银含量在 2%~30% 之间,含铜在 0.5% 以下,个别样品含有微量的铅、硫、砷等杂质。以甘肃碌曲拉尔玛金矿为代表的西部地区自然金中,金含量在 91%~97% 之间,银含量在 1%~8% 之间,多数含铜小于 1%,阿尔泰地区自然金样品含铜 1.7%;川西的自然金,金含量为 81%~83%,银含量为 12%~16%,铜含量可达 2%。小秦岭金矿区自然金中,金含量在 64%~98% 之间,银含量在 1%~35% 之间,铜含量绝大多数小于 0.1%,个别样品达到 0.5%。甘肃礼县火吉坪金矿的自然金平均含

金 90.12%、银 9.49%、铜 0.08%、铁 0.09%。

从中国自然金成分数据来看,各地自然金的纯度从 64%~100% 不等,银含量变化范围较大,在 0~35% 之间,无明显的地理分布特点。绝大多数地方自然金中的铜含量在 1% 以下或不含铜,但四川西部和阿尔泰地区的自然金样品显示了较其他地区更高的铜含量(1.7%、2%)。

北美洲的自然金块,其表面的金含量要比内部高,银含量在 6%~45% 之间,其中阿拉斯加的自然金含铜量可达 2%。澳大利亚的自然金,其纯度在 88%~98% 之间,银含量在 1%~12% 之间。英国及周边地区的自然金,银含量在 1%~20% 之间,铜含量小于或约在 0.1%,还有微量的铅、锡、汞、铋等杂质元素。俄罗斯境内乌拉尔及阿尔泰等地的自然金中,银含量从 0.2%~38% 之间不等,铜含量均在 1% 以下,其他地区的自然金中银含量在 8%~15% 之间,铜含量不超过 0.5%。欧洲大陆的自然金,其纯度在 66%~80% 之间,银含量在 1%~38% 之间,铜含量绝大多数在 1% 以下,但少量来自捷克斯洛伐克和意大利的自然金样品含铜量在 1%~1.4% 之间,罗马尼亚的自然金还含有微量的碲。

欧洲和美洲的自然金,纯度在 66%~98% 之间,银含量分布范围较大,在 1%~45% 之间,绝大多数地方自然金的铜含量在 1% 以下,但阿拉斯加、捷克斯洛伐克和意大利的自然金样品的铜含量较其他地方高,为 1%~2% 之间,德国莱茵河附近的砂金含铜量可达 3.8%^[4]。

通过对世界各地自然金的成分分析发现,自然金中金、银成分不稳定,金含量在 64%~100% 之间,银含量的变化范围在 50% 以下,金、银含量的数值没有地理分布规律;绝大多数地方自然金的铜含量在 1% 以下或不含铜,但中国四川西部、阿尔泰地区、阿拉斯加、捷克斯洛伐克和意大利的自然金样品其铜含量超过了 1%,但都分布在 1%~2% 之间,铜含量在 3% 以上的自然金很少见。

马家塬墓地出土的金制品,其成分经 XRF 与 SEM-EDS 分析发现不是纯金,主要元素组成为金和银,银含量主要分布在 5%~18% 之间,最高的达 35%;铜含量绝大多数分布在 0.3%~2% 之间,有的样品未检测出铜,仅少数样品检测出约 3.3% 的铜。这些金制品的平均铜含量绝大多数在 3% 以下,都含有较高的银,而且无明显合金配比规律,并非纯金制品,应为自然金的成分特征。因此,马家塬墓地金制品的生产以利用自然资源为主。

马家塬墓地的金制品,其铜的成分数据表现出自然金的典型特征(无数值分布规律且主要在 3% 以下),未发现往自然金中有意识地加入铜的现象,这与青铜时代至早期铁器时代西方及欧亚草原金制品的合金发展规律有所不同,后者金银制品中还发现含较多的铜(4% 以上或更高)^[2]。73193(M16 墓室棺盖西南角金片)存在的银偏析现象说明,制作金制品的原料可能经过了熔化,引起银、铜的不均匀分布。这些金制品样品基体纯净,未发现晶间锈蚀及孔洞现象,基本的制作方式为锻打和焊接(金带钩和外金内

银、外银内金的金质部分为铸造而成), 还采用了冲压、打磨、掐丝、卷曲、镶嵌宝石和颜料、金珠颗粒等技术手段, 并以篆刻和模压的方法在金制品表面制作纹饰与图案。

金制品中还有体积很小的金珠值得关注, 73175 (M16 小金珠) 为圆柱状, 中空, 孔径和高度约为 1 毫米, 表面粗糙 (有片状分层) 且有裂迹, 并非铸造, 而是锻打而成。与之同样大小的小银珠制作技法一样, 还有诸多两个半球形合成的金银珠, 也为锻打, 两端有冲孔, 表面经过了打磨。

马家塬墓地出土的金制品为未经冶炼提纯的自然金 (包括银金矿), 金制品的制作工艺以锻打为主, 采用了铸造、热加工、篆刻、掐丝、冲压、模压、贴金、打磨、焊接等技术手段, 较为注重器物的形制和外观视觉效果。总体上来看, 马家塬墓地金制品的技术特点并不在于冶炼、提纯技术, 主要体现在数量、组合与多样化的制作技术上, 器物成形工艺呈现多样化特征, 发达的金珠颗粒焊接技术最具时代与文化特色。

注 释

- [1] 黄维, 吴小红, 陈建立, 王辉. 张家川马家塬墓地出土金管饰的研究 [J]. 文物, 2009, (10): 78 ~ 84.
- [2] 黄维. 马家塬墓地金银制品技术研究——兼论先秦两汉金银工艺 [D]. 北京大学博士研究生学位论文, 2010: 157 ~ 168.
- [3] R. F. Tylecote. The early history of metallurgy in Europe [M]. Longman Inc., New York, 1987: 73.
- [4] A. Voute. Some experiences with the analysis of gold objects [A]. Giulio Morteani and Jeremy P. Northover. Prehistoric Gold in Europe [C]. Kluwer Academic Publishers, 1995: 329 ~ 339.

A Preliminary Study of the Composition and Manufacturing Technology of Gold Artifacts Excavated from Majiayuan Site in Gansu Province

HUANG Wei CHEN Jian-li WU Xiao-hong WANG Hui ZHOU Guang-ji

Various gold artifacts were excavated from Ma Jia Yuan site dating to the late Warring States Period. The objects from this site show abundant cultural factors including central plain area, northern steppe, Qin State, furthermore the western world. The composition and manufacturing technology are analyzed by XRF, SEM-EDS, the Leica microscope to reveal the material and metal working technique used at that time, which are useful to reveal the cultural feature of this site.