

张家川马家塬墓地出土 金管饰的研究

黄 维(北京大学考古文博学院 博士研究生)

吴小红(北京大学考古文博学院 教 授)

陈建立(北京大学考古文博学院 副 教 授)

王 辉(甘肃省文物考古研究所 研 究 员)

2006年,甘肃张家川马家塬墓地出土了大量战国时期的金银饰件^[1],有用于装饰车轮、车厢的条形金箔饰和三角形金花饰,还有各种动物形状的金箔,包金铜贝,包(贴)金银的铁饰件等,如此大量使用金银器的现象,在先秦时期的考古发现中是不多见的。2008年9~12月,在甘肃省文物考古研究所和张家川回族自治县博物馆的大力支持下,笔者多次赴现场对马家塬墓地近两年来出土的遗物进行调研,发现金制品的种类极为丰富,除发掘简报刊布的金箔、金片类饰件外,还有金臂钏、金项圈、四鸟绕日圆形金饰、动物咬斗形金牌饰、金带钩、金耳环、管状金饰和扇形金饰等。其中金耳环、管状金饰和扇形金饰上均附着有细密的小金珠,这种细金工艺品引起了我们的注意。

到目前为止,在考古发掘出土的先秦时期金制品中,这类附着有细密小金珠的饰件在内蒙古鄂尔多斯^[2]和新疆^[3]等地较为常见,马家塬墓地出土的同类金饰件说明细密小金珠在金饰件上的应用具有典型的北方游牧民族文

化因素。然而关于这类先秦时期细金工艺品制作技术的研究开展极少,还无法真正了解这种复杂金制品的生产技术,也无从考察其具体的文化面貌和技术来源。在古代,黄金的开采、冶炼和制作技术的难度并不亚于铜和铁等其他金属材质,金制品特别是细金工艺品的生产和制作技术代表了古代社会金属技术的最高峰,开展对早期细金工艺品的技术研究,不仅有助于客观评价当时的黄金生产与制作工艺,还能在此基础上窥见工艺本身背后隐藏的文化现象,对正确、全面认识当时的社会历史具有重要的学术意义。

先秦时期黄金制品的考古发现和类型学研究,已有国内外学者在文献基础上进行了系统梳理^[4],在对不同时期各种金制品进行分类的基础上,考察器形演变特征和时间、空间的关系,试图以此来揭示金制品与社会发展的关系及相关的文化现象。然而,就如安志敏先生所说,目前对中国早期黄金制品的研究由于实物标本观察的不足,只能从宏观上作轮廓性的

叙述。先秦时期黄金制作工艺的研究除开展了少量合金成分的检测工作外^[5],仍局限于文献基础上的推测^[6],金制品的具体制作工艺仍不得其解。

因此,本文拟通过对马家塬 M16 出土的金管饰进行研究,揭示其制作工艺特征,并对其技术来源进行初步探讨。

1. 金管饰的制作技术

将金管饰置于体视显微镜下观察(图一、二),发现金管饰呈规则的圆柱形,在与径向垂直的方向上对称分布着 4 列球状小金珠,每列有 3 个品字形的小金珠堆积(其中有 1 个没有呈现品字形,而是呈平面三角形排列,可能是制作缺陷引起的)。金管长约 0.4~0.5 毫米,中空,孔径约 1 毫米,壁厚近 1 毫米。外表面可见打磨痕,两端突起被磨平,侧面有未完全合拢的连接痕。品字形金珠与管面基座有凹坑或突起,金珠和基座连接处还有焊接熔化造成的缺陷和堆积物(图三)。

通过以上观察初步判断,金管饰的制作过程为: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接三角锥状小金珠。

2. 金管饰上金珠的制作与焊接技术

为了弄清小金珠的制作及焊接技术,在不损坏文物的前提下,将金管饰直接置于扫描电镜真空室内进行表面微观形貌观察,所用扫描电镜为清华大学摩擦学国家重点实验室荷兰 Philip FEI Quanta 200 FEG 场发射扫描电子显微镜,并配备能谱仪进行微区成分分析,分析结果如表一。



图一
M16 出土金管饰

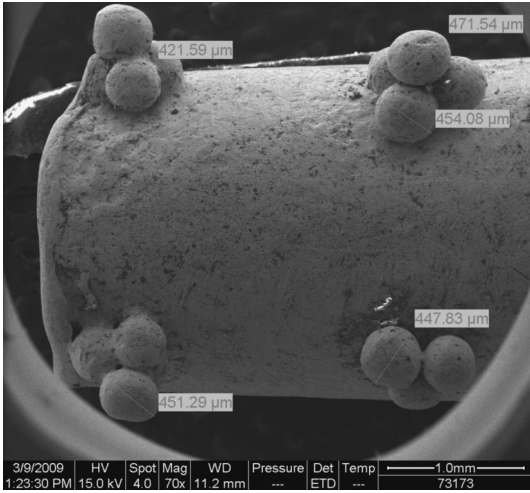
表一 金珠及连接处微区成分分析 (wt%)

分析部位	Au	Ag	Cu	图 版
金珠 A	93.7	4.4	1.9	图四
连接处 B	91.2	6.6	2.2	
金珠 C	95.3	3.2	1.4	
金管 D	91.5	5.6	2.9	图五
连接处 E	91.1	7.5	1.4	
金珠 F	92.7	5.5	1.8	
金管 G	92.2	4.7	3.1	图六
金管 H	锈蚀,含土壤元素 Al、Si 等			
金珠 I	89.4	7.2	3.5	
连接处 J	90.7	7.4	1.9	
金珠 K	92.3	4.9	2.8	
金珠 L	94.2	3.6	2.2	图七
焊料 M	90.3	7.3	2.4	
焊料 N	90.5	7.0	2.5	
金珠 O	95.1	2.8	2.0	图八
连接处 P	88.6	8.2	3.2	
金珠 Q	93.4	3.5	3.1	
连接处 R	90.9	6.1	3.0	
其他金珠与连接部位成分比较				
连接处	91.6	5.8	2.7	无
金珠	94.1	4.3	1.6	
金珠	92.6	4.2	3.2	无
连接处	90.5	6.9	2.6	
金珠	93.5	4.3	2.2	
连接处	89.2	8.5	2.2	无
金珠	93.1	4.4	2.5	

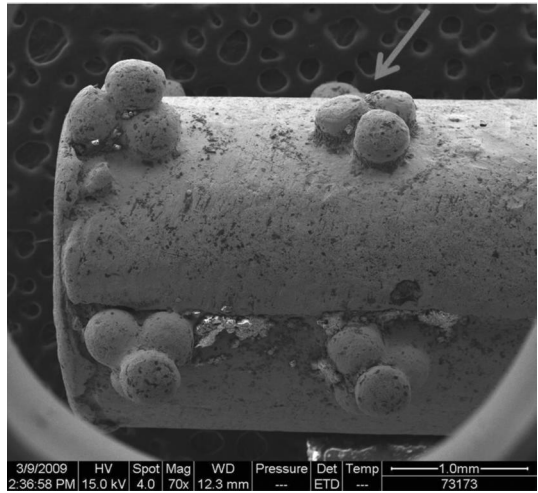
金珠的制作技术

关于古代金珠的制作工艺,基本观点均建立在汉唐以后和现代金银加工技术之上^[7],国外学者也对 16 世纪金珠生产工艺进行介绍^[8],现将这些观点综合归纳如下,主要有三种:

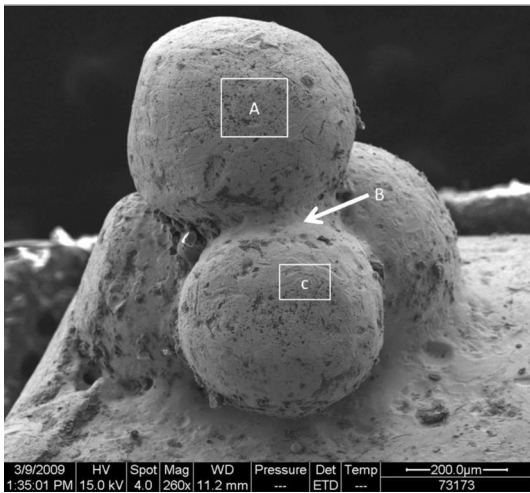
(1) 吸珠 将金丝切成相同的长度,加热自然熔聚成浑圆的球状颗粒,这个过程可以在装有木炭粉的容器或盛有灰的坩埚内进行。要生



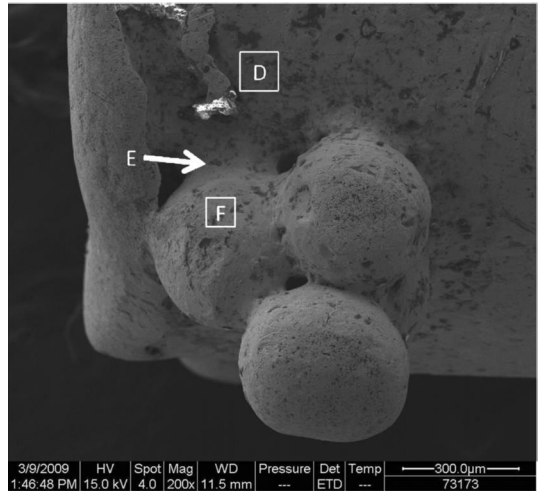
图二 金管饰及金珠颗粒表面形貌



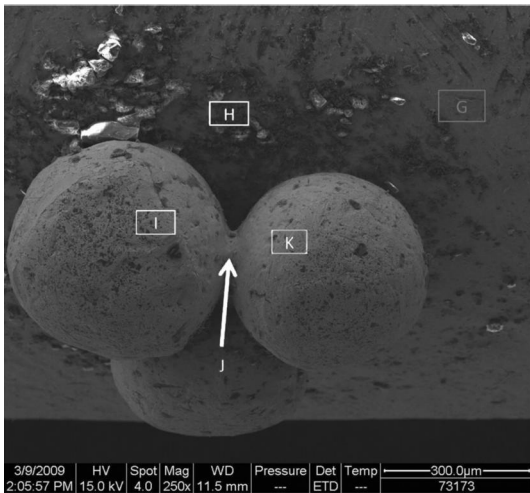
图三 金珠焊接缺陷



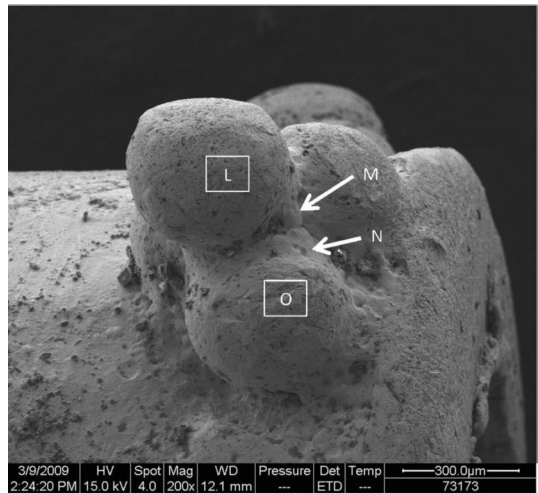
图四 金珠表面微区分析(ABC)



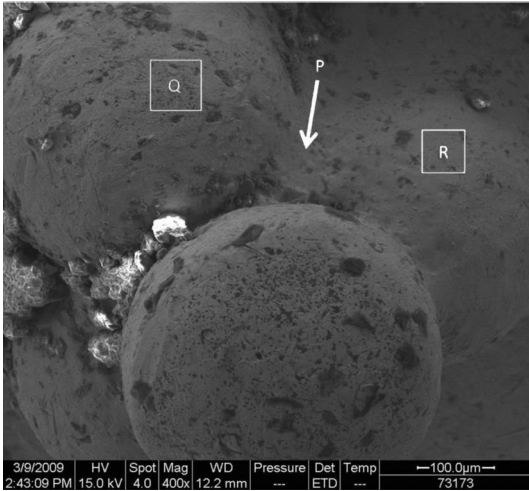
图五 金珠表面微区分析(DEF)



图六 金珠表面微区分析(GHIJK)



图七 金珠表面微区分析(LMNO)



图八 金珠表面微区分析(PQR)

产数量较多而且大小一致的金珠,就要采用吸珠的方法。

(2) 吹珠 灼烧金丝的一端,用吹管吹向端点,受热熔化而落下圆珠,有时无需吹落,金丝局部熔化流向下方形形成珠状。这种方法适用于制作用量少的金珠。

(3) 炸珠 将金银合金置于坩锅中熔化,用树枝将熔化的金属蘸到水流或为水覆盖的石头表面,或直接倒入冷水中。炸珠方法生产出的金珠无法保证颗粒大小一致。

这三种方法在古代都有可能用于金珠的生产。从扫描电镜测量结果来看,马家塬金管饰上的金珠大小一致,应为同一种方法制成,其直径约为 0.42~0.47 毫米,这在古代技术条件下,已经是极为精密。在这些金珠中,除少量因为焊接时加热熔化发生形变外,大多数都为表面光滑规整的圆球,不可能是用吹珠方法所得,因为吹珠会在金珠局部留下与脱落金丝连接的一小段,这种现象在马家塬金管饰上的金珠中没有出现。而炸珠工艺又很难保证金珠颗粒大小的一致性,因此,从分析结果来看,这件金管饰上颗粒大小如此均一的金珠采用吸珠方法制成的可能性较大。

金珠的焊接技术

关于古代细金工艺品中金珠的焊接技术,国内的研究文献中通常以“点焊药”(焊药常为

硼砂或银铜类合金等)的形式简略提及,且多为论述汉唐以后的金银工艺。而在国外,关于古埃及、希腊、罗马时期和中、南美洲金珠焊接技术的研究开展较多,这些研究虽然主要建立在肉眼观察和文献基础之上,但也开展了少量模拟实验工作,对深入研究金珠焊接技术有重要的参考价值,到目前为止,以下三种可能的焊接金珠的方法已为很多学者认可^[9]。

(1) 铜盐还原法 这种方法是将铜的化合物——孔雀石,通过粘接剂(混有木炭粉作还原剂)与金珠粘在一起,在还原气氛下加热至约 800℃^[10],铜被还原出来扩散进入金珠从而将其连接在一起。

(2) 合金焊料 使用金银铜合金的碎片,用粘接剂先将金珠粘好,然后加热使焊料熔化而实现金珠的焊接。

(3) 直接加热焊接 不使用任何焊料,将金珠加热灼烧,在连接处的表面熔融状态下,金珠自然地粘接在一起。这种方法需要精确的温度控制,如果加热温度过高,会使金珠发生较为严重的形变。

区分这三种方式最为可行的办法是将金珠与连接部位的合金成分进行比较。使用铜盐还原法,其连接处的含铜量要比金珠高,Paolo Parrini 等分别对伊特鲁里亚扣针和梳子上的金珠(金珠直径分别为 1/56 厘米、1/36 厘米)和连接部位进行了成分分析,金珠含金 68%、银 30%、铜 1.3% (其他金珠铜含量不超过 2.7%),连接处的铜含量达 5%,系采用铜盐还原法焊接而成^[11]。采用直接加热法来焊接金珠,在连接处不会产生明显的合金成分差异,R. ECHT 等对两件伊特鲁里亚扣针上的金珠进行了分析,在金珠与金珠之间、金珠与扣针之间的连接处没有铜,金珠系用直接加热法焊接而成^[12];David A Scott 检测了哥伦比亚的金珠^[13],在连接处没有发现铜,系用直接加热的方法焊接而成^[14]。使用合金焊料,在连接部位,其银含量会偏高,Lechtman 对秘鲁北部出土鼻饰件上的金珠进行了分析,在连接处发现有焊

料碎片或非常薄的金属条^[15], 古代是否使用金银铜合金焊料, 目前开展的检测工作很少。

在对马家塬金珠焊接技术进行研究过程中, 笔者对金珠的合金成分、金管基体的合金成分和各个连接部位的合金成分进行了成分分析, 结果见表一。扫描电镜金珠表面形貌观察表明, 在金珠之间, 金珠与金管基体之间, 有明显的焊料堆积物, 可以肯定金珠在焊接过程中使用了焊料。根据检测结果, 金珠与金管基体合金成分无明显差异, 而与焊料的合金成分存在明显差别。在分析的 ABC 三处, 连接处的银含量比金珠分别高出 2.2%、3.4%, 铜含量稍微偏高; DEF 三处, 连接处银含量比金珠高 2%, 铜含量稍低; GHILK(I 点可能打到靠近连接处或焊料熔化后扩散至金珠表面所致) 五个区域的分析中, 连接处的银含量比金珠和金管高约 2.7%, 铜含量低约 1.5%; LMNO 四处分析中, 连接处的银含量要高出 3.7%~4.2%, 铜含量大致相当; PQR 三处分析中, 连接处银含量较金珠高 2.6%~4.7%, 铜含量大致相当; 在其他部位分析的连接处与金珠成分, 也有上述这些类似的明显的银含量差异。

金珠之间、金珠与金管基体连接处堆积的焊料的银含量明显偏高, 这一现象说明, 马家塬 M16 金管饰上的金珠在焊接时使用的是金银铜合金焊料, 铜含量高低不一说明焊料中的铜成分并不为当时的金属工匠有意利用。

3. 马家塬金珠焊接细金工艺品的来源

马家塬战国墓出土的用金银铜合金作焊料焊接在金管饰上的小金珠(直径约为 0.4 毫米), 其形制和制作工艺对研究先秦时期的细金工艺品及汉唐时期金珠焊接技术的渊源具有重要意义。先秦时期具有金珠焊接技术的装饰物在内蒙古杭锦旗阿鲁柴登出土战国时期的金耳坠, 新疆乌拉泊水库出土的战国至西汉(前 500~100 年)的金耳坠, 新疆阿合奇县库兰萨日克出土的战国至西汉(前 500~100 年)的金耳坠, 新疆特克斯县出土的战国至西汉(前 500~100 年)的葡萄形金耳坠等均有出现, 而

在马家塬墓地出土的这类细工艺品中, 除金管饰上焊接有小金珠外, 在扇形金饰和金耳坠上都有这种细密的小金珠, 器形较同时期(或稍晚)的内蒙古和新疆更为多样化, 在文化上具有一定的代表性。目前发现的先秦时期的这种细金工艺品在中原文化区很少见, 而在汉代张骞通西域建立专门的官方通道以后, 细金工艺品自西方大量传入而开始盛行, 至唐代达到最高峰。因此, 从目前的考古发现来看, 中国北方地区出土的以马家塬为代表的先秦时期的金珠焊接工艺品明显地受到外来文化或技术的影响, 这一现象说明, 早在春秋战国时期, 这种外来文化的影响就已经产生了。

焊接金珠工艺品在地中海周边的古文明——埃及、希腊、罗马和近东地区, 从出现的时间和制作工艺来看均在中国之前。

金珠焊接工艺品早在公元前 2000 年就已经出现在地中海周边地区, 至公元前 8 世纪晚期至公元前 7 世纪的伊特鲁里亚(Etruscan)发展到最高峰^[16]; 目前已知最早的焊接金珠工艺品现藏于开罗博物馆, 年代约为公元前 2000~前 1900 年, 其做工精美, 说明当时这种技术水平很高; 现藏于开罗博物馆约公元前 1600 年的一把匕首, 其金柄上有许多粗大的金珠颗粒; 特洛伊出土的公元前 2000 年的耳环上有细密的小金珠, 但其制作工艺不如伊特鲁里亚的辉煌时代; 现藏于雅典国家博物馆的迈锡尼时期的一些垂饰上装饰有大量的小金珠; 在 Cyprus 岛上发现的约公元前 1300 年的垂饰物和耳环上有小金珠; 迈锡尼晚期的 Cyprus, 埃及和伊朗西部的 Susa, 这种用小金珠装饰的珠宝十分普遍, 器类涉及耳环、手镯、链子、垂饰等。

在中亚这种金珠焊接工艺品也有发现, Marlik(波斯)出土的约公元前 1000 年的耳饰, 其上焊接的小金珠呈多面体形^[17]; 乌尔出土的公元前 7 世纪的球形戒指上有粒状小金珠^[18]。

金珠的颗粒大小可能和时间、特定的文化有关。例如公元前 3000 年特洛伊耳环上的金珠颗粒较大, 直径约为 1.1 毫米^[19]; 迈锡尼工匠所



图九 俄罗斯西西伯利亚出土金珠焊接工艺品

用的金珠更小,约为 0.5 毫米^[20];公元前 7 世纪伊特鲁里亚的金珠直径约为 0.14 毫米^[21];约公元前 650 年的伊特鲁里亚扣针上装饰的金珠其直径约为 0.18 毫米^[22]。

从金珠大小分布的地理特征来看,自意大利向东至希腊、特洛伊,其直径从小到大,以伊特鲁里亚金珠的直径为最小(0.14~0.28 毫米),这种地域特征一方面说明当时的伊特鲁里亚作为金珠生产中心具有较高的技术水平,另一方面也显现了技术具有自西向东移动的趋势。根据目前中西方为数不多的测量结果来看,马家塬墓地出土的金珠的直径与希腊出土的金珠大小较为接近。

在公元前 2000 至前 700 年的地中海沿岸和中亚,动物形状牌饰、带钩、耳坠、手镯、链、扣针、项饰、戒指等金饰品上较多地采用金珠焊接工艺,至公元前 700 年的伊特鲁里亚达到以金珠直径为 0.14 毫米的制作技术的最高水平,以后这种技术继续在地中海周边地区得到发展,直至中世纪以后,这种风格的金饰件才不再流行。虽然金珠制作和焊接技术的具体起源地仍不清楚,但其在地中海古文明有着悠久的历史,以马家塬墓地为代表的中国北方地区出土的中国青铜时代末期的金珠焊接工艺品,其数量、器物类型都较西方逊色,出现的时间相对较晚,从时空特征来看,地中海文明和中亚的金珠焊接工艺品有向东移动的可能性,这种可能的传播通道可经欧亚大陆中北部的贸易路线来到中国^[23]。马家塬墓地(M16)出土的其他同类管状金珠颗粒焊接工艺品的图

案形制呈锯齿状对称的三角形,这与俄罗斯西西伯利亚 Filippovka 出土的公元前 400 年的工艺品极为相似^[24]。图九为金帽装饰的圆柱形玛瑙珠子,长 2.7 厘米,现藏于 Ufa 考古博物馆(831/1204),珠子中空,金帽上有金珠颗粒焊接成三角形。这种锯齿状对称的立体三角形图案为近东地区自公元前 2000 年以来典型的装饰风格。

综合以上技术和器物类型的证据,先秦时期出现在中国北方少数民族、以马家塬墓地为代表的金珠焊接工艺品,其金珠大小与希腊出土的金珠较为接近,金珠生产技术较为成熟,饰物焊接金珠的风格受到地中海文明的影响,这种影响可以通过广阔的欧亚草原到达中国北方地区。马家塬墓地出土金管饰上金珠的焊接使用的是金银铜合金焊料,与目前西方学者检测的焊接方法(铜盐还原法和直接灼烧)有所不同,具有一定的本地化特征,但由于金珠焊料的科学分析工作开展太少,还不能就此断定中西方较为常用的金珠焊接工艺是哪一种方法,或者焊接工艺和器物类型有何关系,这也可能与时代和不同的地域文化有关,这些问题需要开展更多的焊料研究才能逐渐认识。根据目前掌握的材料来看,以金珠颗粒焊接细金工艺品为代表的地中海早期文明与中国北方地区存在较为紧密的联系是肯定的,欧亚草原是这一联系的中介,这类细金工艺品装饰习俗的传播方向应为自西向东。

- [1] 甘肃省文物考古研究所、张家川回族自治县博物馆《2006 年度甘肃张家川回族自治县马家塬战国墓地发掘简报》,《文物》2008 年第 9 期。
- [2] 田广金、郭素新《内蒙古阿鲁柴登发现的匈奴遗物》,《考古》1980 年第 4 期。
- [3] 新疆文物考古研究所《乌鲁木齐市乌拉泊古墓葬发掘研究》,第 326 页,新疆人民出版社,1995 年;新疆文物考古研究所《阿合奇县库兰萨日克墓地发掘简报》,第 445~446 页,新疆人民出版社,1995 年;穆舜英《中国新疆古代艺术》,图版 140、

- 149, 新疆美术摄影出版社, 1994年; 张玉忠《伊犁河谷土墩墓的发现与研究》,《新疆文物》1989年第3期。
- [4] 齐东方《唐代金银器研究》,第201~212页,中国社会科学出版社,1999年;张静、齐东方《古代金银器》,第9~40页,文物出版社,2008年; Emma C. Bunker. Gold in the Ancient Chinese World: A Cultural Puzzle. *Artibus Asiae*, Vol. 53, No. 1/2, 1993: 27-50; 杨伯达《中国古代金饰文化板块论》,《故宫博物院院刊》2007年第6期; 安志敏、安家瑶《中国早期黄金制品的考古学研究》,《考古学报》2008年第3期; 吴勇《试述新疆地区早期金银器》,《新疆文物》1999年第3、4期合刊; 陈振中《先秦时代的金器及其特点》,《中国经济史研究》2005年第4期; 齐东方《中国早期金银器研究》,《华夏考古》1999年第4期; 段渝《商代黄金制品的南北系统》,《考古与文物》2004年第2期。
- [5] 曾中懋《三星堆祭祀坑出土金器的成分分析》,《文物科技研究》(第二辑),科学出版社,2004年; 肖、杨军昌、韩汝玢《四川成都金沙村遗址出土金属器的实验分析与研究》,《文物》2004年第4期; 谭维四、白绍芝《浅论曾侯乙墓的黄金制品》,《江汉考古》1986年第3期; Paul Jett, Lynn Brostoff, and Laure Dussubieux. Technical Study and Elemental Analysis of Chinese Gold from the Late Eastern Zhou Period. In: Douglas, J., Jett, P., Winter, J. (Eds), *Scientific Research on the Sculptural Art of Asia: Proceedings of the Third Forbes Symposium at the Freer Gallery of Art*. Archetype Publications in association with the Freer Gallery of Art, Smithsonian Institution, London, 2007: 53-62; Lynn B. Brostoff, Jhanis J. González, Paul Jett, Richard E. Russo. Trace element fingerprinting of ancient Chinese gold with femtosecond laser ablation inductively coupled mass spectrometry. *Journal of Archaeological Science*, 2009(36): 461-466.
- [6] 齐东方《中国早期金银工艺初论》,《文物季刊》,1998年第2期; 陈振中《先秦金器生产制作工艺的初步形成》,《中国经济史研究》,2007年第1期。
- [7] 同[4],《唐代金银器研究》,第184页;《中国早期金银器研究》; 杨小林《中国细金工艺与文物》,科学出版社,2008年。
- [8] Diane Lee Carroll. A Classification for Granulation in Ancient Metalwork. *American Journal of Archaeology*. Vol. 78, No. 1, 1974: 33-39
- [9] La Niece, Susan and Meeks, N. Diversity of gold smithing traditions in the Americas and the Old World, in *Precolumbian gold technology, style and iconography*, Edited by McEwan Colin, 2000: 220-239; Diane Lee Carroll. A Classification for Granulation in Ancient Metalwork. *American Journal of Archaeology*. Vol. 78, No. 1, 1974: 33-39; Diane Lee Carroll. On Granulation in Ancient Metalwork. *American Journal of Archaeology*. Vol. 87, No. 4, 1983: 551-554
- [10] Duval, A. R., C. Elhère, L.P. Hurtel and M. Menu. The use of scanning electron microscopy in the study of gold granulation. In *Archaeometry, Proceedings of the 25th International Symposium*, ed. Y. Maniatis, Elsevier. Amsterdam, 1989: 325-333; Higgins, R. A. *Greek and Roman Jewellery*. Methuen, London, 1961: 20-21.
- [11] Paolo Parrini, Ediberto Fomigli, Emilio Mello. Etruscan Granulation: Analysis of Orientalizing Jewelry from Masliana d'Albegna. *American Journal of Archaeology*, Vol. 86, No. 1, 1982: 118-121.
- [12] R. ECHT, W. R. THIELE. SINTERING, WELDING, BRAZING AND SOLDERING AS BONDING TECHNIQUES IN ETRUSCAN AND CELTIC GOLDSMITHING. In G. Monteani and J. P. Northover (eds), *Prehistoric Gold in Europe*, Kluwer Academic Publishers, 1995: 435-451.
- [13] Plazas de Nieto, C. and A.M. Falchetti de Sáenz. Museo del Oro (catalogue). Banco de la República, Santafé de Bogotá, 1994: 142.

(下转第87页)

解的。

《汉书·冯奉世传》记云：“及秦灭六国，而冯亭之后冯毋择、冯去疾、冯劫皆为秦将相焉。”此处冯毋择，《史记·赵世家》集解引作“冯无择”。而《汉书·高帝纪上》记云：“食其还，汉王问：‘魏大将谁也？’对曰：‘柏直。’王曰：‘是口尚乳臭，不能当韩信。骑将谁也？’曰：‘冯敬。’曰：‘是秦将冯无择子也，虽贤，不能当灌婴。步卒将谁也？’”彼此对读，可知冯毋择曾任秦将。这与岳麓秦简称其为“将军”也是符合的。

[1] 陈松长《岳麓书院所藏秦简综述》，《文物》2009年

第3期。本文引述简文，或按我们的理解改动，不一一指陈。

- [2] 汉语大字典字形组编《秦汉魏晋篆隶字形表》，第728、178页，四川辞书出版社，1985年。
- [3] 《韩非子新校注》，第712页，上海古籍出版社，2000年。
- [4] 《助字辨略》，第87页，商务印书馆，1937年。
- [5] 睡虎地秦墓竹简整理小组《睡虎地秦墓竹简》，第7(释文)、10(注释)页，文物出版社，1990年。
- [6] 同[5]，第6(释文)、9(注释)页。
- [7] 湖南省文物考古研究所《里耶发掘报告》，第194页，岳麓书社，2007年。

(责任编辑：李缙云)

(上接第84页)

- [14] David A Scott. Pre hispanic Colombian Metallurgy: Studies of some Gold and Platinum Alloys. Doctoral thesis, University of London, Institute of Archaeology, 1982.
- [15] Lechtman, H. N. Technical description. In *Andean Art at Dumbarton Oaks*, vol. 1, ed. E. Hill Boone, Dumbarton Oaks Research Library and Collection, Washington, DC, 1996: 280-283.
- [16] C. Densmore Curtis. Ancient Granulated Jewelry of the VIIIth Century B. C. and Earlier. *Memoirs of the American Academy in Rome*, Vol. 1, 1915-1916: 63-85.
- [17] Cyril Stanley Smith. Art, Technology, and Science: Notes on Their Historical Interaction. *Technology and Culture*, Vol. 11, No. 4, 1970: 493-549.
- [18] H. J. Plenderleith. Metals and Metal Techniques. In C. L. Woolley, *Ur Excavations II: The Royal Cemetery*, New York, 1934: 297.
- [19] Istanbul, Archaeological Museum, 679; H. Schliemann, *Ilios, the City and the Country of the Trojans*, New York, 1881: 489, nos. 842, 843; Art

Treasures of Turkey, Smithsonian Institution, Washington, D. C., no. 39, 1966: 74.

- [20] Athens National Museum, from tombs 88 and 103, Mycenae.
- [21] Diane Lee Carroll. A Classification for Granulation in Ancient Metalwork. *American Journal of Archaeology*. Vol. 78, No. 1, 1974: 33-39.
- [22] Cyril Stanley Smith, *Metallurgical Footnotes to the History of Art*, Proceedings of the American Philological Society, Vol. 116, No. 2, 1972: 97-135.
- [23] Ludmila Koryakova, Andrej Vladimirovich Epimakhov. *The Urals and Western Siberia in the Bronze and Iron Ages*. Cambridge University Press, 2007: 335.
- [24] Joan Aruz, Ann Farkas, and Elisabetta Valtz Fino. *The golden deer of Eurasia: perspectives on the steppe nomads of the ancient world*. New York: Metropolitan Museum of Art; New Haven: Yale University Press, 2006: Plate 17.

(责任编辑：李缙云)