



广西战国汉代墓葬出土铁器的科学研究

- ◆ 黄全胜 (广西广播电视大学)
- ◆ 李延祥 (北京科技大学)
- ◆ 郑超雄 (广西博物馆)
- ◆ 陈建立 (北京大学考古文博学院)
- ◆ 冯桂淳 (广西贵港市博物馆)

摘要:铁锛的使用提高了古代农业生产力,促进了农耕文明的发展。本研究对广西古代墓葬出土的铁器进行了金相实验研究,主要采用金相、扫描电镜及能谱分析(SEM-EDS)等研究方法,对广西战国汉代墓葬出土4件铁器等遗物样品进行了显微组织和成份检测分析。结果表明,武鸣马头镇安等秧战国铁锛为生铁制品;桂平市大塘城汉代长铁剑为炒钢制品,汉代炒钢制品是广西地区的首次发现;桂平市大塘城汉代铁釜为生铁制品,短铁剑为块炼铁制品。武鸣战国铁锛标志着中原地区的农耕技术迟于战国时期传播到广西南部地区。

关键词:广西地区 战国汉代 铁器 壮族 冶金考古

Abstract: It improved agricultural productivity considerably and developed agricultural civilization that using iron spade as farm implement in the ancient world. This is the first time to study iron artefacts unearthed from the ancient tombs in the Guangxi Region by metallographical analysis. The microstructure and composition of the 4 iron artefacts unearthed from the tombs of the Warring States Period and Han dynasty in the Guangxi Region are investigated by using metallographic microscopy, and scanning electron microscope with energy-dispersive spectrometry (SEM-EDS). The results show that an iron spade is the production of cast iron, unearthed from the tomb of the Warring States Period at An'dengyang site, Matou Town, Wuming County; and a long iron sword is the production of the puddling steel, a short iron sword is the production of bloom/wrought iron, and an iron cauldron is the production of cast iron, unearthed from the tombs of the Han dynasty at Datangcheng site, Guiping City. The iron spade marked that the farming technology in the central plains of China had been disseminated to the south of Guangxi Region no later than the warring states period.

Key words: Guangxi Region, the Warring States Period and Han dynasty, iron artefacts, Zhuang ethnic group, archaeo-metallurgy

大约公元前第二千纪中期,人类文明进入铁器时代之后,铁制品开始应用于军事活动、农业生产和日常生活等,人类的生产水平日益提高,物质生活日益丰富。尽管世界各地的古代文明进入铁器时代有先有后,但铁器文明的到来都为世界各民族的经济和社会发展提供了强有力的技术支撑。

一、检测的铁器概况

广西地区地处我国中原地区与中南半岛大陆地区的主要连接地带,从古至今多种文化在广西地区传播、交流,并

融合成为具有本地的文化特征。考古研究表明,广西地区迟于战国时代晚期开始使用铁器,但由于这些出土铁器尚未经过科学检测及分析,同时有关广西地区铁器的古文文献记载相当有限甚至是相当缺乏,因此,广西地区铁器时代的早期面貌及其制作工艺、技术内涵等至今仍然是模糊不清。本研究通过对广西地区出土的早期铁器开展科学检测分析及研究,将为解决上述这些问题提供科学证据和技术线索。

本研究对广西博物馆提供的武鸣马头安等秧的战国墓葬出土铁器1件,广西考古研究所和广西桂平市博物馆提供的贵港地区桂平市寻旺乡大塘城的汉代墓葬出土铁器3



图一 本研究的广西战国汉代墓葬出土铁器示意图

件进行了金相组织实验研究。这 4 件铁器的考古背景较为明确,可为初步考察探讨广西地区早期铁器的制作技术面貌提供科学依据。本研究检测的铁器其考古年代较早、器物种类较为齐全,其中农具 1 件、工具 1 件、兵器 2 件,具有较好的代表性(见表一)。武鸣马头安等秧的战国墓葬遗址位于广西南部地区武鸣县东部的马头镇马头社区南面 1 公里处,东靠大明山。20 世纪 80 年代,发掘武鸣安等秧战国墓 98 座,其中 22 号墓出土铁凹口锤 1 件,是广西地区迄今出土最早的铁器之一。20 世纪 90 年代以来,广西文物工作队、桂平市博物馆对大塘城汉代墓葬遗址进行抢救性发掘;大塘城汉代墓葬遗址位于广西东南部地区桂平市寻旺乡大塘城村,考古学家据墓葬形制及其共存物等判定其年代从西汉晚期延续至

东汉早期。本文涉及的广西战国汉代墓葬铁器出土地点见图一所示。

二、实验方法

主要是通过金相组织观察和 SEM-EDS 检测分析来研究铁器的材质和制作工艺。样品全部取自残断处,经过镶样、磨光、抛光后,用 3-5% 硝酸酒精溶液浸蚀,在北京大学考古与文博学院的徕卡 DM4000M 型金相显微镜下观察其组织,同时拍摄照片。锈蚀铁质样品一般不必浸蚀,磨光、抛光后直接在金相显微镜下进行观察,寻找其残存组织或痕迹。

三检测结果与分析

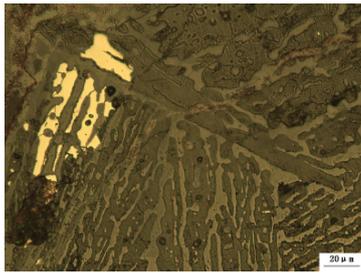
表二为本研究的铁器金相组织观测结果汇总表。武鸣安等秧的战国铁锤 GW01 锈蚀严重,锈蚀中可见金属残存及白口铁组织痕迹,为生铁制品。见图二所示。该件生

表一 广西地区战国汉代墓葬出土部分铁器情况表

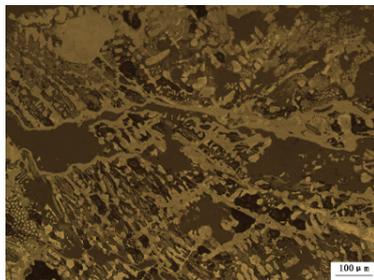
类型	样品名称	实验室样品号	出土地点	年代	样品形状及取样部位	备注
农具	铁锤	GW01	武鸣县马头安等秧	战国	器型完整,在 U 型刃部取横截面为样。	广西博物馆提供
工具	铁釜	GDT03	贵港市桂平大塘城	汉代	锈蚀严重、破碎、器型不完整,取样部位不详,取碎片横截面为样。	广西考古研究所提供
武器	长铁剑	GDT01	贵港市桂平大塘城	汉代	锈蚀严重、器型基本完整,长约 60cm、宽约 3.5cm。在残断处刃部取横纵截面为样。	桂平市博物馆提供
	短铁剑	GDT02	贵港市桂平大塘城	汉代	锈蚀严重、器型基本完整,长 30cm、宽 3.5cm。在残断处刃部取横纵截面为样。	桂平市博物馆提供

表二 广西地区战国汉代墓葬出土部分铁器的金相组织

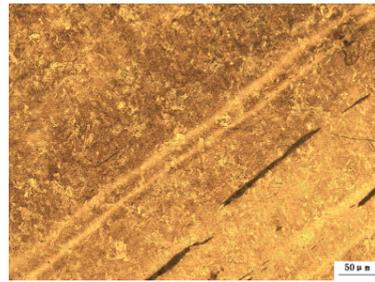
类型	样品名称	原始编号	实验室样品号	金相组织观察结果	材质判定
农具	铁锤	M22	GW01	锈蚀严重,锈蚀中可见白口铁组织痕迹。见图 2。	白口铁
工具	铁釜	06GXDM1006	GDT03	锈蚀严重,锈蚀中可见白口铁组织痕迹。见图 3。	白口铁
武器	长铁剑	95.3 寻旺大塘城汉墓	GDT01	质地纯净,为共析钢或亚共析钢组织。经过淬火处理,有微量元素磷偏析形成的多条带状组织,单相夹杂物沿着加工方向变形拉长。见图 4。	炒钢锻打
	短铁剑	95.3 寻旺大塘城汉墓	GDT02	均匀铁素体组织,铁橄榄石-氧化亚铁共晶夹杂物沿加工方向变形拉长。见图 5。	块炼铁热锻



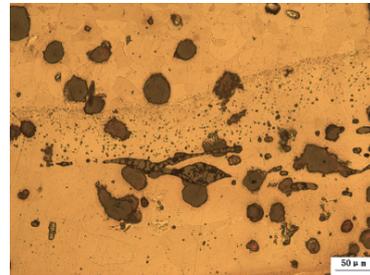
图二 武鸣马头安等秧铁锤 GW01 白口铁组织痕迹。



图三 桂平大塘城铁釜 GDT03 白口铁组织痕迹。



图四 桂平大塘城长铁剑 GDT01 金相图片。共析钢或亚共析钢组织,有微量元素偏析形成的多条带状组织,单相夹杂物变形拉长。



图五 桂平大塘城短铁剑 GDT02 金相图片。铁素体组织,铁橄榄石-氧化亚铁共晶夹杂物沿加工方向变形拉长。

铁制品为广西地区迄今为止经科学检测确认为最早的生铁制品。贵港桂平大塘城铁釜 GDT03 锈蚀严重,锈蚀中未见金属残存,可见白口铁组织痕迹,为生铁制品。见图三所示。贵港桂平大塘城长铁剑 GDT01 为炒钢制品,其质地纯净,为共析钢或亚共析钢组织;显微观察见有微量元素磷偏析形成的多条带状组织,单相夹杂物沿着加工方向变形拉长。见图四所示。单相硅酸盐夹杂物为钙硅型炉渣残留,其成份见表 3。该件炒钢制品是广西地区的首次发现,具有较高的学术价值和科学研究价值。贵港桂平大塘城短铁剑 GDT02 为块炼铁制品,其铁素体组织均匀,铁橄榄石-氧化亚铁共晶夹杂物沿加工方向变形拉长,当为热锻处理。见图五所

示。其铁橄榄石-氧化亚铁共晶夹杂物的成份,见表三。

四、讨论

1.生铁技术在广西地区的传播与应用

检测结果发现,武鸣安等秧战国墓葬出土的铁锤 GW01 的材质为白口铁,说明至迟战国时期广西南部地区已经拥有生铁制品,并应用于农业生产活动。武鸣安等秧的战国铁锤是迄今为止经科学检测的广西地区最早的生铁制

表三 桂平大塘城汉墓出土铁器夹杂物 SEM-EDS 分析结果

样品名称	实验室编号 与分析位次	元素组成 (Wt%)										
		Mg	Al	Si	P	S	K	Ca	Mn	Fe	备注	
长铁剑	GDT01	点扫 1	tr.	tr.	tr.	0.62	tr.	tr.	tr.	n.d	99.19	基体带状组织
		点扫 2	tr.	tr.	tr.	n.d	n.d	0.17	0.11	0.1	99.5	基体非带状组织
		点扫 3	n.d	tr.	tr.	0.65	tr.	tr.	0.16	n.d	99.01	基体带状组织
		点扫 4	tr.	tr.	tr.	0.63	tr.	tr.	tr.	0.1	99.03	基体带状组织
		点扫 5	0.89	4.78	30.34	n.d	n.d	3.26	32.79	1.42	26.52	单相夹杂
		点扫 6	0.13	3.41	21.38	n.d	n.d	3.91	23.3	0.32	47.55	单相夹杂
		点扫 7	1.17	5.72	35.78	n.d	n.d	7.69	42.43	1.36	5.84	单相夹杂
		点扫 8	1.43	5.61	35.33	n.d	0.23	3.54	44.59	2.41	6.89	单相夹杂
		点扫 9	1.54	5.51	31.69	n.d	tr.	4.92	47.77	1.53	7.01	单相夹杂
		点扫 10	1.73	5.15	26.62	n.d	tr.	2.74	16.73	2.02	44.98	单相夹杂
短铁剑	GDT02	点扫 1	0.39	2.96	14.39	tr.	tr.	0.76	0.24	0.2	81.03	暗相夹杂
		点扫 2	0.26	n.d	15.76	n.d	n.d	0.22	0.13	0.15	83.48	暗相夹杂
		点扫 3	tr.	0.22	0.73	n.d	tr.	tr.	tr.	tr.	98.77	浮氏体夹杂

注:n.d 为未检出含量, tr.为痕迹量。

品,具有较高的学术价值和历史研究价值。铁制品应用于农业生产活动,标志着战国时期广西南部地区的农具已经有了飞跃发展,农业生产大大地提高;与此同时,战国铁锤等生铁制品农具的出现,标志着战国时代的中原地区的农耕技术已经开始传播到广西南部地区。

经金相显微组织观测,桂平大塘城汉墓铁釜 GDT03 残留有白口铁组织痕迹,说明广西东南部地区迟于汉代生铁制品开始应用于生活用具,铁制品已经进入老百姓的日常生活。

战国秦汉以后,中国的钢铁冶炼技术不断向外传播。考古资料表明,中国古代生铁技术迟于战国时期传播到朝鲜,两汉时期进一步传播到日本,生铁制品农具汉代时期也传播到了越南等地。考古研究表明,十五世纪以前,生铁技术及其制品并没有在中华文明圈以外地区大量或广泛使用。近年的考古研究结果显示,我国中原地区迟于春秋早期(约公元前 8 世纪)开始拥有生铁技术。由实验结果可知,岭南地区与中原地区的钢铁技术的传播及交流迟于战国时期就开始。

2. 块炼铁技术在广西地区的传播与应用

贵港市桂平大塘城短铁剑 GDT02 为块炼铁制品,其铁素体组织均匀,金属基体中的铁橄榄石-氧化亚铁共晶夹杂物沿加工方向变形拉长,当为热锻处理;其铁橄榄石-氧化亚铁共晶夹杂物的成份与贵港地区各处古代冶铁遗址的块炼铁炉渣的成份较为接近。桂平大塘城汉墓的块炼铁制品夹杂物的成份与贵港地区各处古代冶铁遗址的块炼铁炉渣的成份较为接近,不能排除该块炼铁制品的原材料来源于本地。研究表明,汉代时期贵港地区在使用生铁制品的同时,也使用块炼铁制品。

3. 炼钢技术在广西地区的传播与应用

贵港市桂平大塘城汉墓出土的长铁剑 GDT01 为炒钢制品,其质地纯净,为共析钢或亚共析钢组织。有微量元素磷偏析形成的带状组织,带状组织的磷值一般在 0.6%左右。单相硅酸盐夹杂物沿加工方向变形拉长,为锻打所致。单相硅酸盐夹杂物为钙硅型的炉渣残留,夹杂中 Fe 的成份在 5.84%至 47.55%之间, Ca 的成份在 16.73%至 47.77%之间,呈 Fe 高 Ca 低或者 Fe 低 Ca 高的反比关系;K 值在 2.74%至 7.69%之间,波动较小;Mg、Al、Si 含量比较稳定;没有检测出 P 成份;S 值仅在点扫 8 中发现有 0.23%,其余点扫没有发现 S 成份(见表三)。据 CaO-FeO-SiO₂ 系相图可知,GDT01 样品单相玻璃相夹杂的软熔温度在 1250℃-1544℃区间,因含有少量的 Al₂O₃、MnO 和 K₂O,其实际软熔温度很可能就在此区间附近。

贵港市桂平大塘城汉墓出土的长铁剑炒钢制品 GDT01 其夹杂物为硅钙系,与汉代时期中原地区的生铁炉

渣成份较为接近,表明其生铁原料的冶炼工艺与中原地区的生铁冶炼技术应为同一工艺类型。贵港市桂平大塘城长铁剑是广西地区首次发现的炒钢制品;表明至迟汉代时期,广西地区开始拥有炒钢制品;汉代炒钢制品在广西地区的首次发现,具有较高的学术价值。

4. 与周边地区古代钢铁冶金技术的传播与交流

本研究首次对广西战国汉代墓葬出土的部分铁器进行了金相实验研究。实验结果表明,广西地区与中原地区的钢铁技术的传播及交流迟于战国时期就已经开始;到了汉代时期,广西地区同时存在生铁技术和块炼铁技术。

20 世纪 80 年代,北京科技大学冶金史研究所曾对南越王墓葬出土的 9 类 9 件铁器进行了科学检测和分析。其中的铁鼎是唯一的铸铁器物,但该铁鼎的器型具有典型的越式鼎的特点;其余的铁器均是锻造加工器物。同一时期,河南省文物专家李京华先生也对南越王墓葬出土的铁器进行了深入详细考察,发现当时岭南地区的铁器制作技术是以锻造为主。从以上的研究结果可知,与广西毗邻的广东地区在汉代时期,其生铁制品和块炼铁制品也是同时使用。

杨式挺等对广东地区战国汉代时期墓葬出土铁器的类型学进行了研究,认为与广西同处岭南地区的广东地区为战国时期进入铁器时代,使用的铁器为楚地或经楚地传入;秦汉时期,广东地区仍未建立有自己的冶铁业,其铁器为北方传入。黄展岳则认为,因为岭南没有自己的冶铁业,战国汉代时期岭南地区的铁器为中原输入,或者铁坯料自中原输入、本地加工成器^①。上述观点仍需对广东地区早期的冶铁遗址遗物和铁器进行系统地科学研究予以证实。

近期的科学研究结果表明,与广西相邻的贵州地区,战国时期已经出现生铁制品^②,其铁器年代以及技术内涵与广西地区基本相似。张增祺通过对出土铁器的类型学等研究,认为云南地区为春秋晚期或战国初期进入铁器时代,铁器时代初期至西汉中期的铁器均为块炼铁锻造而成,为本地产品;西汉中期之后才出现铸铁器物^③。据此可以认为,西汉中期之后中原地区的生铁技术才传播到云南地区;而云南地区的块炼铁技术的传播与交流等状况,还需要对当地的冶铁遗址以及出土铁器开展详查和科学研究。云南地区的块炼铁技术与广西地区的传播与交流也应给予关注和进一步考察。

据考古研究结果,至迟西汉时期,中原地区已经广泛使用炒钢技术。除中原地区外,广州南越王墓出土西汉时期炒钢制品多件,云南昆明羊甫头墓地出土汉代铁剑和江川李家山 M68 出土铁剑亦为炒钢制品^④,武夷山城村汉城出土 29 件铁器中有 6 件炒钢制品^⑤,贵州赫章可乐汉代墓葬出土铁器也发现有炒钢制品^⑥。广西桂平大塘城汉代墓葬出土的长铁剑 GDT01 样品也是炒钢制品。在岭南、西南、东南地区发现炒钢制品,标志着炒钢技术在古代中国的大规模应用

和推广使用。说明迟于汉代时期,炒钢制品已经在中原地区和中国南方地区的广泛使用,但它们之间的传播与交流路径等仍有待深入研究。

综上所述,广西等南方大多地区迟于战国时期进入铁器时代,并拥有了生铁制品;到了汉代时期,炒钢制品在南方各地广泛应用。由铁器制作技术可知,广西与中原及南方周边地区文化的传播和交流迟始于战国时期;秦汉时期及其之后,它们之间的生铁技术及其文化传播和交流应当更为频繁。广西地区战国汉代墓葬出土铁器的实验研究成果,为阐明广西地区早期钢铁技术发展历程提供了新的科学资料。

5.与东南亚等地区古代钢铁冶金技术的传播与交流

20世纪80年代,美国学者 R. Maddin 等对越南古代墓葬出土的铁器开展了科学研究。结果显示,大约于公元前600—公元前258年期间,与广西地区相邻的越南北部地区开始进入铁器时代,在东山文化(约公元前第一千纪晚期)墓葬出土有大量的生铁铸件器物^{⑩-⑫};在越南中南部的沙萤(Sa Huynh)遗址也出土了与东山文化内涵一致的铁器^⑬。这些证据说明迟秦汉时期开始,中国的生铁制品已经传播到越南中南部地区,显然这是中华文明影响的结果。由于越南的古代铁矿冶炼遗址的研究工作相对滞后,未见有关炼炉、炉渣、鼓风机等冶金遗物的研究报告及报道,秦汉时期的越南是否已经掌握生铁冶炼技术尚有待进一步研究。

西方学者 C. Higham 等对泰国板那地(Ban Na Di)遗址出土遗物的研究表明,与中国相邻的泰国东北部地区约公元前第一千纪早期进入铁器时代,采用的是块炼铁冶炼技术^{⑭-⑯}。20世纪80年代,泰国学者 P. Suchitta 对泰国中部地区的板地郎(Ban Di Lung)遗址等进行了系统的科学研究,结果表明,板地郎遗址的冶炼活动时期是6世纪至14世纪,也是采用块炼铁冶炼技术。泰国板地郎遗址的炼炉和鼓风机等遗存,与印度公元前7世纪的耐肯德(Naikund)等冶铁遗址的遗存相似;P. Suchitta 等据此认为,泰国古代冶铁技术是受到来自印度次大陆文明的影响^⑰。近年来,郑超雄、李延祥、黄全胜等的研究表明,广西地区迟于汉代开始大规模采用块炼铁冶炼技术炼铁,广西与东南亚大陆地区、南亚次大陆地区的古代块炼铁冶炼技术的交流与联系的研究已经取得了初步成果^{⑱-⑳}。

从民族学来看,广西、广东、云南地区的壮傣族群与东南亚大陆地区部分国家(特别是老挝、泰国、越南北部等)的相关族群在历史上有着千丝万缕的地缘等联系,至今仍然使用着同一基本生活词汇的语言,值得考查。泰国有日常谚语“Lhek/Lek mai awl than”^㉑(大意:炼成铁后不需要炭),其发音及涵义和广西南部地区的壮语一模一样,据此可以推断,至少广西南部地区与泰国等东南亚地区迟于铁器时代它们的技术及其文化就存在着密切地交流或相互影响等

关系。

五、结论

通过以上科学检测及综合分析研究,可以确定:武鸣安等秧的战国铁锤是迄今为止经科学检测确认的广西地区最早的生铁制品,中原地区的农耕技术迟于战国时期已经传播到广西南部地区。贵港市桂平大塘城的汉代长铁剑是广西地区首次发现的炒钢制品,具有较高的学术价值和科学研究价值;贵港市桂平大塘城的汉代短铁剑为块炼铁制品,其夹杂物为铁橄榄石-氧化亚铁共晶夹杂;贵港市桂平大塘城的汉代铁釜为生铁制品。广西与中原及南方周边地区文化的传播和交流迟始于战国时期;秦汉时期及其之后,它们之间的技术文化传播和交流当更为频繁。对广西地区战国汉代墓葬出土铁器的科学实验研究,为阐明广西地区早期钢铁技术面貌及其对古代农耕社会文明的推进和发展提供了新的科学资料。

致谢:在研究过程中,得到广西博物馆、广西考古研究所、贵港市博物馆、桂平市博物馆的大力支持;北京科技大学李建西博士在SEM-EDS实验过程给予大力帮助,谨此一并致以衷心感谢!

注释:

广西壮族自治区文物工作队、南宁市文物管理委员会、武鸣县文物管理所:《广西武鸣马头安等秧山战国墓群发掘简报》,《文物》1988年第12期。

蓝日勇:《广西战国铁器初探》,《考古与文物》1989年第3期。

广西壮族自治区文物工作队:《平乐银山岭战国墓》,《考古学报》1978年第3期。

广西文物工作队,桂平市博物馆:《广西桂平大塘城汉代墓葬和窑址的发掘》,广西博物馆:《广西博物馆文集(第二辑)》,广西人民出版社,2005年。

柯俊:《中国大百科全书·矿冶卷》,中国大百科全书出版社,1984年。

韩汝玢:《天马-曲村遗址出土铁器的鉴定》,北京大学考古学系商周组、山西省考古研究所:《天马-曲村1980-1989》,科学出版社,2000年。

黄全胜:《广西贵港地区古代冶铁遗址调查及炉渣研究》,漓江出版社,2013年。

北京科技大学冶金史研究室:《西汉南越王墓出土铁器鉴定报告》,广州市文物管理委员会、中国社会科学院考古研究所、广东省博物馆:《西汉南越王墓(上)》,文物出版社,1991年。

李京华:《南越王墓出土金属器制作技术试析》,广州市文物管理委员会、中国社会科学院考古研究所、广东省博物馆:《西汉南越王墓(上)》,文物出版社,1991年。

杨式挺:《关于广东早期铁器的若干问题》,《考古》1977年

第2期。

⑪黄展岳:《南越国出土铁器的初步考察》,《考古》1996年第3期。

⑫陈建立、黄全胜、李延祥等:《贵州赫章可乐墓葬出土铁器的金相实验研究》,贵州省文物考古研究所:《赫章可乐2000年发掘报告》,文物出版社,2008年。

⑬张增祺:《云南开始用铁器的时代及其来源问题》,《云南省博物馆.云南省博物馆学术论文集》,云南人民出版社,1989年。

⑭李晓岑、韩汝玢、杨帆:《昆明羊甫头出土金属器的初步研究》,云南省文物考古研究所、昆明市博物馆、官渡区博物馆:《昆明羊甫头墓地》,科学出版社,2005年。

⑮陈建立、杨琮、张焕新等:《福建武夷山城村汉城出土铁器的金相实验研究》,《文物》2008年第3期。

⑯李延祥:《东南亚冶金考古》,《中国冶金史料》1993年第2期。

⑰Stech T, Maddin R. Reflections on Early Metallurgy in Southeast Asia. The Beginning of the Use of Metals and Alloys [M]// R Maddin. The Beginning of the Use of Metals and Alloys. Papers from BUMA- . Zhengzhou, China: The MIT Press, 1988: 163-174.

⑱Higham C. Prehistoric Metallurgy in Southeast Asia: Some New Information from the Excavation of Ban Na Di [M]// R

Maddin. The Beginning of the Use of Metals and Alloys. Papers from BUMA- . Zhengzhou, China: The MIT Press, 1988: 130-155.

⑲Murowchick R. E. The Development of Early Bronze Metallurgy in Vietnam and Kampuchea: A Reexamination of Recent Work [M]// R Maddin. The Beginning of the Use of Metals and Alloys. Papers from BUMA- . Zhengzhou, China: The MIT Press, 1988: 182-199.

⑳Suchitta P. History and development of iron smelting technology in Thailand [D]. USA, Providence: Brown University, 1983: 110-136.

㉑黄全胜、李延祥:《广西贵港地区早期冶铁遗址初步考察》,《有色金属》2008年第1期。

㉒黄全胜、李延祥:《广西平南六陈坡嘴遗址冶炼技术研究》,《有色金属》2011年第1期。

㉓黄全胜、李延祥:《广西平南县铁屎塘冶炼遗址初步研究》,《四川文物》2012年第1期。

㉔黄全胜、李延祥:《广西桂平罗秀古代冶铁遗址群初步研究》,《中国科技史杂志》2012年第4期。

㉕郑超雄:《平南县六陈汉代冶铁遗址》,中国考古学会:《中国考古学年鉴(1989)》,文物出版社,1990年。

(上接第108页)

①②姚智辉:《晚期巴蜀青铜器技术及兵器斑纹工艺探讨》,科学出版社,2006年。

③崔剑锋、吴小红、刘弘等:《四川盐源出土的一件镀锡九节鱼纹鸡首杖》,《文物科技研究(第五辑)》,科学出版社,2007年。

④a.李晓岑、韩汝玢、蒋志龙:《云南晋宁石寨山出土金属器的分析和研究》,《文物》2004年第11期;b.韩汝玢、李晓岑:《云南古滇地区的金属制作技术与北方草原青铜文化》,《文物科技研究(第五辑)》,科学出版社,2007年;c.孙淑云、李晓岑、姚智辉等:《中国青铜器表面镀锡技术研究》,《中国冶金史论文集(第五辑)》,科学出版社,2012年。

⑤李晓岑、赵凤杰、刘成威等:《云南省曲靖市平坡墓地出土铜器的技术分析》,《江西理工大学学报》2012年第6期。

⑥李晓岑、雅丽、刘杰等:《云南祥云红土坡古墓群出土金属器的初步分析》,《文物》2011年第1期。

⑦孙淑云、李晓岑、姚智辉等:《中国青铜器表面镀锡技术研究》,《中国冶金史论文集(第五辑)》,科学出版社,2012年。

⑧张少昀、秦颖:《加热过程中古代铜镜表面“锡汞齐”相变分析》,《光谱学与光谱分析》2010年第10期。

⑨N. D. Meeks. , Tin-rich Surfaces in Bronze—some Ex-

perimental and Archaeological Considerations, Archaeometry 28, 1986(2): pp.133-162.

⑩Kinnes, I. A., Craddock, P. T., Needham, S. and Lang, J. Tin plating in the Early Bronze Age: the Barton Stacey axe. Antiquity 53, 1979(208): 141-143.

⑪MEEKS N. D. Tin-rich Surfaces on Bronze - Some Experimental and Archaeological Considerations. Archaeometry 28, 1986(2): 133-162.

⑫Rovira S. Tinned surface in Spanish Late Bronze Age swords. Surface Engineering 21, 2005(5-6): 368-372.

⑬Hedges, E. S. Tin in social and economic history. London: Edward Arnold, 1964.

⑭Savory, H. N. A new hoard of La Tène metalwork from Merionethshire. The Bulletin of the Board of Celtic Studies 20, 1964(4): 449-475.

⑮Savory, H. N. Further notes on the Tal-y-Lylyn (Mer.) hoard of La Tène metalwork. The Bulletin of the Board of Celtic Studies 22, 1966(1): 88-103.

⑯MEEKS N. D. Tin-rich Surfaces on Bronze - Some Experimental and Archaeological Considerations. Archaeometry 28, 1986(2): 134.

⑰陈坤龙、梅建军、邵安定等:《陕西宝鸡石鼓山新出西周铜甲的初步科学分析》,《文物》2015年第4期。