

中国及周边地区早期的铜器

Early Copper Wares in China and the Surrounding Areas

供稿|毛卫民^{1,2}, 李一鸣², 王开平¹ / MAO Weimin^{1,2}, LI Yiming², WANG Kaiping¹

内容导读

公元前 3000 年及之前, 中国多地出现了人工冶铜技术, 进而制作出了红铜、白铜、黄铜、锡青铜、砷铜等不同化学成分的铜器。公元前 3000 年至前 2000 年期间, 人工冶铜技术在中华文明地区以及周边更大范围与之有密切联系的东亚文明地区相互扩散。鉴于公元前 2000 年以前存在的地理、地质、气候等方面的阻隔, 东亚文明区的人工冶铜技术难以受到来自西亚方面的影响。公元前 1000 年之后人类才逐渐掌握定量控制铜器化学成分的知识, 因此中国早期铜器多样化的化学成分应主要取决于各地所能获取的各自不同的铜矿资源。

引言

铜是人类最早用来大量制作工具的金属。以 Cu 为主要化学成分, 并含有适量其它化学元素的金属称为铜合金。主要化学成分是铜, 其它化学元素总量非常少的金属称为纯铜, 纯铜的外观颜色偏红, 因此也称为红铜; 含有适量镍的铜合金颜色偏白, 称为白铜; 含有适量锌的铜合金颜色偏黄, 称为黄铜。传统上, 把含有适量锡的铜合金称为青铜, 但如今把含有适量除镍或锌以外的其它化学元素的铜合金都称为青铜。例如, 含有适量锡的铜合金称为锡青铜, 含有适量砷的铜合金称为砷青铜, 或简称为砷铜。

人类在野蛮时代初期即新石器时代的初期就开始接触自然界中存在的铜, 并逐渐对铜有了初步的认知。到野蛮时代末期, 人类开始摸索出把自然界的铜矿石转变成铜进而制作成铜工具的人工冶铜技术, 由此不仅拉开了铜器时代的序幕, 而且铜工具

的广泛使用及其对提高生产力的促进作用也为人类进入文明时代奠定了基础^[1]。

一般认为, 世界上最早的人工冶铜技术于公元前五千纪出现在与中华文明区相对隔绝的西亚地区; 当时的中华文明区以及与之密切相关联的周边泛东方文明区主要涉及中国中原地区、新疆地区、北方俄罗斯寒冷地带以南的亚洲北部草原地带。囿于人类迁移能力的局限, 直至公元前二千纪, 欧亚北方寒冷地带、雷恩沙漠、中亚沙漠区、印度沙漠区、喜马拉雅山脉和帕米尔高原组成的地理、地质、气候等多重阻隔带, 把中华文明区和西亚文明区分割成两个相互很少联系、相对独立的区域^[2]。

约公元前 3000 年及以前的铜器

早期的人类在制作铜器时通常只能就地取材。因此, 所制作铜器的化学成分往往与当地铜矿资源是否含有其他金属以及含有何种金属密切相关。若

铜矿中含有锌就可能制作出黄铜器，若铜矿中含有镍就可能制作出白铜器，含有锡就可能制作出锡青铜器，以此类推。

陕西汉中勉县陈家坝的铜矿区蕴藏含锌铜矿床和含镍铜矿床等多金属铜矿床^[3]。1973年在临潼姜寨仰韶文化遗址发现了中国迄今为止由人工冶铜技术制作的最早铜器，是一件含25%（质量分数）锌的薄圆形黄铜片，其年代约为公元前4700年^[4]。该黄铜的熔点约为950℃，因此就当时的高温技术水平，既可用高温冶铜技术，也可以借助块炼铜技术制作出来^[5]。针对性实验研究显示，用天然铜锌共生矿石可以借助人工冶铜过程直接制作出黄铜制品，而中国多地确实也蕴藏着各种锌铜共生矿，因而具备了直接制作黄铜器的资源^[6]。另外，1956年在西安半坡遗址区发现一件由人工冶铜技术制作含20%（质量分数）镍的薄长条形白铜片^[7]，所涉及的年代约为公元前4700年^[8]。该白铜的熔点约为1200℃，就当时的高温技术水平，只可能借助块炼铜技术制作出来^[5]。1980年对陕西渭南北刘遗址仰韶文化庙底沟时期的地层进行尝试性挖掘时还发现1件黄铜簪，年代约为公元前3700年至前3100年^[9]。

在内蒙古东部红山文化地区的赤峰北部蕴藏含锡的铜矿床和其它多金属铜矿床^[10]，适合于用来制

作锡青铜。1987年在内蒙古敖汉旗红山文化的西台遗址中发掘出了2组陶范，是约公元前4500至前4000年用于铸造小青铜器的模具^[11]。在诸如甘肃夏河县等甘肃青海地区蕴藏含锡的铜矿床和含砷的铜矿床^[12-13]，在甘肃东乡林家遗址马家窑文化晚期的地层中发现了一把通长12.5 cm的锡青铜刀，其年代为约公元前3000年^[14]；在青海同德县宗日遗址出土了约公元前3000年的砷铜刀^[2]。在新疆的吉木乃县胡萨因阔拉斯铜矿区蕴藏含锡的铜矿床和其它多金属铜矿床^[15]，2020年在吉木乃县的通天洞遗址则发现了约公元前3000年的锡青铜管残片，这是新疆目前已知最早的铜器^[16]。山西运城地区有铜矿区，而在山西榆次源涡镇就发现了约公元前3000年仰韶文化晚期的铜炼渣^[17]；辽宁抚顺红透山矿区蕴藏铜矿，在辽宁朝阳牛河梁遗址发现了约公元前3000年红山文化纯铜制作的小铜环^[18]；山东烟台地区有铜矿区，山东泰安大汶口文化1号墓所发掘的随葬品中有表面附着铜绿锈的骨笛，铜质量分数为9.9%，其年代约为公元前30世纪^[8]。表1简洁地归纳了中华文明区公元前30世纪及之前上述早期铜器的考古发掘情况。参照自然资源部地图技术审查中心公布的标准亚洲地图^[19]，在图1中用实心小圆圈符号标识出了这些考古发现的大致地理位置。

表1 中华文明区公元前30世纪及之前早期铜器的考古发掘

时间范围	考古实物	铜器质地	发掘地点
公元前47—前46世纪	铜片、铜管	黄铜	陕西临潼姜寨仰韶遗址
公元前47—前46世纪	铜片	白铜	陕西西安半坡遗址
公元前45—前40世纪	铸造小青铜饰模具	锡青铜	内蒙古赤峰市西台遗址
公元前37—前31世纪	铜簪	黄铜	陕西渭南北刘遗址
约公元前3000年	铜刀	砷铜	青海同德县宗日遗址
约公元前3000年	铜刀	锡青铜	甘肃东乡林家遗址
约公元前3000年	铜管残件	锡青铜	新疆吉木乃县通天洞遗址
约公元前3000年	铜炼渣	红铜	山西榆次源涡镇遗址
约公元前3000年	铜环	红铜	辽宁朝阳牛河梁遗址
约公元前30世纪	铜绿锈（9.9%铜）		山东泰安大汶口遗址1号墓葬

约公元前三千纪 (公元前 3000 至前 2000 年) 的铜器

中国国家博物馆展示的远古时期各阶段的地图及中国历史地图^[20]显示，五帝时期至夏商年代中国

的北方和西北方，在今天哈萨克斯坦巴尔喀什湖和俄罗斯贝加尔湖之间广大的亚洲北方草原地区是匈奴及其先祖族群生活的地区，该地区属于亚洲游牧民族的萨满文化区。今天中国新疆周边地区则是当时的城廓诸国、即西域诸国的领地。

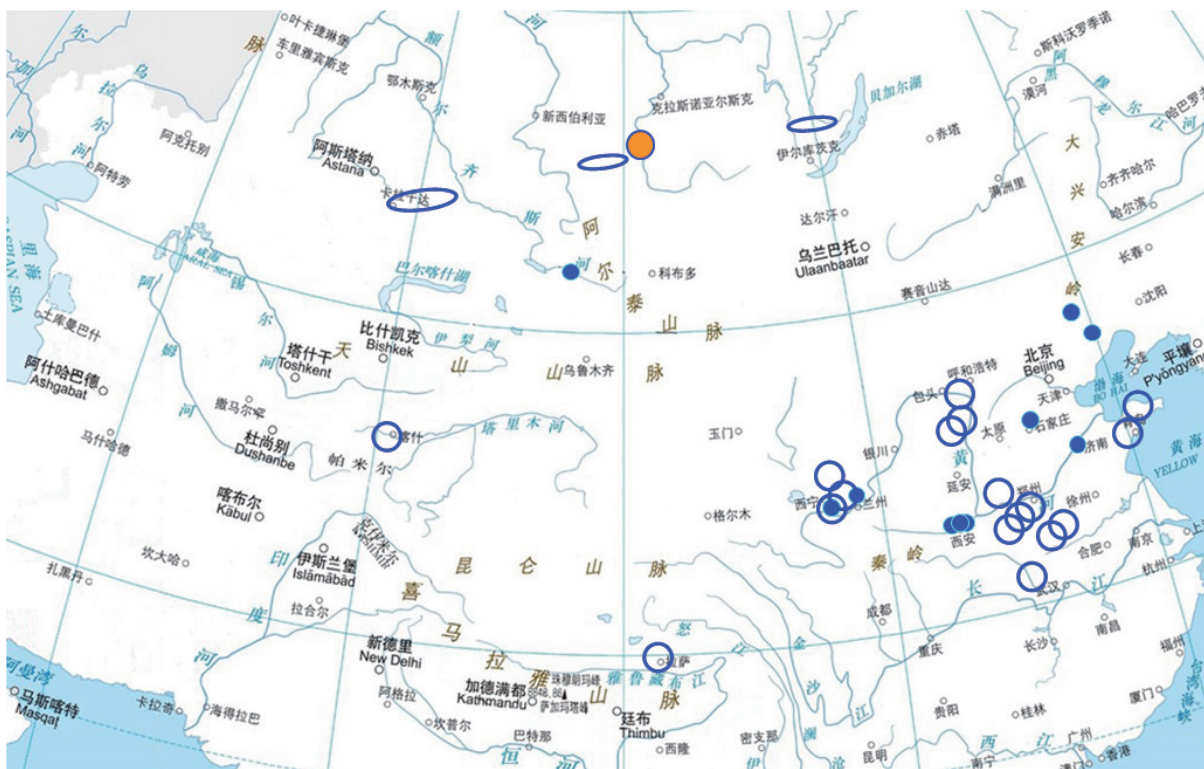


图1 东亚和中亚地区公元前2000年及更早时期的部分铜器考古遗址(参见表1和表2, 实心小圆圈: 约公元前3000年及以前的诸铜器考古遗址; 空心圆圈: 公元前3000年至公元前2000年期间诸铜器考古遗址; 实心大圆圈: 汉代宫殿考古遗址; 上端椭圆: 亚洲草原诸萨满文化遗址; 左: 公元前24—前22世纪克罗多沃文化遗址、中: 公元前22—前20世纪奥库涅夫文化遗址、右: 公元前26—前21世纪格拉兹科沃文化遗址)

公元前三千纪期间的黄帝集团属于中国华夏民族的祖先, 在集团众多族群所分布的地理范围之外, 还有各种与华夏民族的先祖保持种种复杂而密切联系的大量边远部族, 被称为“蛮”“夷”“戎”“狄”, 这些部落族群虽不是夏族, 但很多都是正处于融入夏族过程中的“戎”“胡”等族群^[21]。其实, 由于夏族存在内部矛盾, 使得一些不得势的夏族也会被迫进入这些地区, 成为边远部族。夏王朝灭亡以后, 部分夏族人向北迁徙, 与当地族群融合成为匈奴, 因此《史记·匈奴列传》载“匈奴, 其先祖夏后氏之苗裔也”^[22]; 当时匈奴及其先祖族群生存的主要地域就是今天包括贝加尔湖在内的俄罗斯南西伯利亚和蒙古草原地区。1940年, 在俄罗斯南西伯利亚哈卡斯自治共和国首府阿巴坎以南8 km处, 即贝加尔湖以西匈奴地区的腹地发现了一座汉式宫殿遗址(参见图1中实心大圆符号所标识出的位置), 被称为“最北方的汉式宫殿”, 考察发现, 许多板瓦和瓦当上有“天子千秋万岁常乐未央”等字样^[23]。分析显示该宫

殿建于西汉时期, 表明匈奴与中国内地有长期的交往历史。中国历史上经常提及的西域地区就是今天的新疆地区以及哈萨克斯坦的巴尔喀什湖地区。该地区各族群的祖先自十几万年前从西方逐渐迁移而来, 并在此长期生息繁衍。然而, 喜马拉雅山脉直至一万年前的不断隆升(图1靠左侧)、欧亚北方的寒冷地带(图1上端), 再加上随之形成的中亚地区里海上端以及里海与巴尔喀什湖之间连续的大片沙漠地带(图1左侧)逐渐阻断了西域与西亚之间的物流联系与文化交流的通道(参见图1), 以至直到16世纪西域地区的主导性宗教始终是佛教^[24]; 在此之前, 西亚的伊斯兰教并未能对西域地区产生重要影响^[2]。在早期, 作为西域与中原地区之间联络通道的河西走廊并不十分通畅, 随后经张骞通西域以来的持续努力, 西域与中原地区之间的往来交流日益活跃, 以至自西汉以来西域地区各民族逐渐融入了中华民族。由此可见, 公元前2000年以前的匈奴及其先祖地区和西北西域诸国地区大体属于与中

华文明核心区域有密切联系的泛东方文明区。

匈奴及其先祖和西域族群早期生存过的地区属于泛东方文明范围内游牧民族的撒满文化区；当今，对该地区即俄罗斯南西伯利亚的考古研究发现了公元前三千纪（公元前 3000 至前 2000 年）期间的铜器^[25]。以众多撒满文化区的考古发掘为例，在贝加尔湖西北侧的萨尔明斯基岬墓地出土了约公元前 26—前 21 世纪格拉兹科沃文化的铜刀；在巴尔喀

什湖以北，额尔齐斯河与鄂毕河之间的索普卡-2 墓地出土了约公元前 24—前 22 世纪克罗多沃文化的铜饰物和铜片；在上述汉代宫殿遗址西南方不远处、奥库涅夫文化区的切尔诺瓦亚-8 墓地中发掘出了约公元前 22—前 20 世纪的铜匕首等。表 2 简洁地归纳了今天俄罗斯南西伯利亚地区公元前三千纪期间早期铜器的考古发掘，图 1 上端用椭圆符号标识出了这些考古发现的大致地理位置。

表 2 中华文明区及周边泛东方文明区约公元前 3000 至前 2000 年的铜器考古发掘

国家	时间范围（文化）	考古实物	铜器质地	发掘地点
俄罗斯 (五帝时代匈奴先祖地区 和西域地区)	公元前26—前21世纪格拉兹科沃文化	铜刀	青铜	贝加尔湖西北侧，萨尔明斯基岬墓地
	公元前24—前22世纪克罗多沃文化	铜饰物、铜片	青铜	巴尔喀什湖以北，额尔齐斯河与鄂毕河之间，索普卡-2墓地
	公元前22—前20世纪奥库涅夫文化	铜匕首	青铜	贝加尔湖以西，哈卡斯共和国，切尔诺瓦亚-8墓地
中国	约公元前2500年	铜铤等	青铜	湖北天门石家河遗址
	约公元前24世纪	铜渣		河南淮阳平粮台遗址
	公元前24—前22世纪	铜块		河南鹿邑栗台遗址
	约公元前21世纪	铜铃/铜齿轮器	红铜/砷铜	山西襄汾陶寺遗址
	约公元前21世纪	炼铜坩埚碎片	红铜	河南临汝煤山遗址
	公元前30—前20世纪	铜饰残片	砷铜	青海同德县宗日遗址
	公元前23—前20世纪	铜刀	锡青铜	甘肃永登蒋家坪
	公元前20世纪之前	刀/锥/斧/镰	红铜	甘肃武威皇娘娘台遗址
	公元前22—前20世纪	残铜条/锥		山东栖霞杨家圈遗址
	约公元前20世纪	铜鬲残片	锡青铜	河南登封王城岗遗址
	约公元前2000年	熔铜残炉壁	青铜	河南郑州牛砦遗址
	约公元前20世纪	铜环、铜齿环	砷铜	陕西神木石峁遗址
	约公元前20世纪	铜簇	锡青铜	西藏拉萨曲贡遗址
	约公元前2000年	短柄铜刀	青铜	陕西榆林火石梁
	约公元前2000年	铜环		内蒙古准格尔旗二里半遗址
	约公元前2000年	残铜片/铜条	红铜/青铜	新疆疏附县苏勒塘巴俄遗址
	约公元前2000年	钻形器	黄铜	山东胶县三里河遗址

公元前 3000 至前 2000 年期间，在中华文明核心区及周边其他地区不断地出现早期人工冶铜和使用铜器的考古发现。根据很不完整的统计，在湖北天门石家河遗址发现了约公元前 2500 年的青铜铤，相关研究认为公元前 30 世纪之前在长江流域已经存在了人工冶铜行为^[26]；在河南淮阳平粮台龙山文化城址发现了一块约公元前 24 世纪呈铜绿色的铜渣^[27]；在河南鹿邑栗台遗址发现了公元前 24—前 22 世纪的一件铜块^[28]；在山西襄汾县陶寺村南的陶寺遗址中发现了约公元前 22 世纪砷铜制

作的铜铃和铜齿轮形器（图 2）^[29]；在河南临汝县龙山文化煤山遗址发现了约公元前 21 世纪炼铜坩埚残片，内壁保留有六层残留红铜液层，含铜质量分数达到 95%^[30]。在青海同德县宗日遗址还出土了许多约公元前 3000 至前 2000 年的砷铜饰物残片^[31]。在甘肃永登蒋家坪出土了约公元前 23—前 20 世纪马厂文化的锡青铜刀，在甘肃武威皇娘娘台遗址出土了约公元前 20 世纪之前齐家文化的铜质刀、锥、斧、镰等铜器^[32]；在山东栖霞杨家圈遗址出土了一件约公元前 22—前 20 世纪^[9]的残铜条，形

似铜锥^[33-35]。另外，在河南登封王城岗龙山文化四期灰坑内出土了一件约公元前 20 世纪由锡青铜铸造的铜鬯残片^[36]；在河南郑州牛砦龙山文化遗址内^[37]，发现了约公元前 2000 年熔化青铜的残留炉壁^[38]。在陕西神木石峁遗址发现了约公元前 20 世纪红铜制作的铜环和砷铜制作的铜齿环（铜齿轮形器，参见图 2）^[39]，在西藏拉萨曲贡遗址出土了约公元前 20 世纪锡青铜制作的铜铍^[40]；在内蒙古自治区准格尔旗二里半遗址出土了约公元前 2000 年的一件铜环^[9]，在新疆疏附县苏勒塘巴俄遗址还发掘到约公

元前 2000 年的红铜残片和锡青铜条^[41]；在陕西榆林火石梁也出土了约公元前 2000 年的一件短柄铜刀^[9]，属青铜器^[42]；在山东胶县三里河龙山文化遗址中发现了两件约公元前 2000 年的黄铜钻形器^[35,43-44]。表 2 列出了公元前三千纪期间中国各地铜器的考古发掘，图 1 用空心圆圈显示出了这些考古发现的大致地理位置。河西走廊地区的冶金考古研究认为^[45]，约公元前 2100 年该地区就开始了铜冶金活动，已出现了红铜冶炼与砷铜冶炼，并且很早就开始尝试冶炼锡青铜。

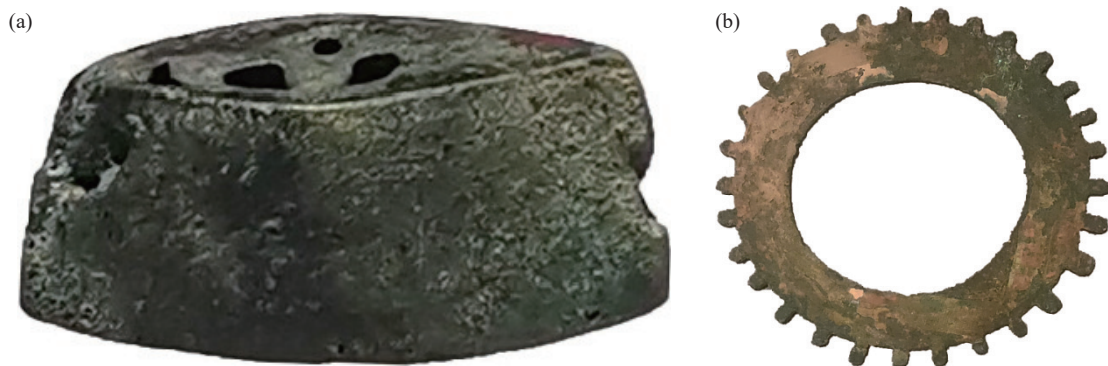


图 2 在山西襄汾约公元前 2300—前 1900 年的陶寺遗址中出土的铜器（中国考古博物馆）：(a) 铜铃；(b) 铜齿轮形器

早期的铜工具与铜器的成分

人类的文明时代往往是在广泛使用铜器的推动下，社会生产力达到温饱有余水平后所开启的一个呈现出各种新型社会特征的时代^[1]。因此，比石器更具备明显性能优势的铜工具^[46]对提升社会生产力和促进人类进入文明时代发挥了巨大的作用。现有的考古发掘显示^[47]，秦帝国建立之前，在全国各地考古发现了 7400 多件铜工具，说明铜工具在早期中国社会经济发展中确实发挥着重要作用。逐一核对后可以确认，上世纪五十至八十年代在中国甘肃、河北、陕西、山东、安徽、内蒙古、青海各地发掘到了约公元前 2000 年或更早时期的许多早期铜工具，包括铜锥、铜刀、铜铲、铜斧、铜钻、铜针、铜镰等，共计四十多件^[47]。这些未必完整的统计观察也说明铜工具的普遍使用不可避免地促进了中华文明的萌生。综上所述，公元前 3000 年以前中国多地已经开始出现人工冶铜技术和铜器的使用，在公元前三千纪期间（公元前 3000 至前 2000 年）中国各地

人工冶铜技术与铜器的使用、尤其是铜工具的使用呈现出逐渐普及的趋势。

根据今天对铜及铜合金的定义，考古发现的公元前 3000 年及以前的铜器分别属于红铜、白铜、黄铜、锡青铜、砷铜等（表 1），公元前 3000 至前 2000 年考古发掘的铜器也属于比较常见的红铜、锡青铜、砷铜等（表 2）。除了红铜以外，其它铜器的质地都属于铜合金范畴，即这些铜器具有各自独特的化学成分。然而，迄今为止的考古研究都无法证实，当时中国各地的族群已具备了系统性控制铜合金成分的知识能力。在此一千多年后，公元前数百年战国后期的《考工记》曾记载了制作锡青铜时，控制化学成分中锡与铜的比例与所制铜器的性能和应用范围关系的系统性描述^[48]，并被认为是“这是世界上最早关于合金配比的记载”^[49]。

公元前 2000 年之前，全世界能考证到的系统性文字包括西亚苏美尔文明的楔形文字、北非古埃及文明的象形文字和南亚古印度文明的印章文字^[50]。印章文字数量不太多，且至今无法解读；楔形文字

和古埃及象形文字虽然有铜器乃至人工冶铜的记载,但至今并未发现涉及铜合金成分控制的记载;如此看来,《考工记》关于铜合金成分控制的记载很可能是全世界最早的。如果公元前 2000 年之前,全世界各地的人类族群都不掌握控制铜合金化学成分的知识,那么所制作出的铜器分属于红铜、白铜、黄铜、锡青铜、砷铜等不同化学成分的原因只能是:各地所能获取的铜矿资源呈现出了以含铜为主、或含铜的同时也含有镍、锌、锡、砷等不同其它元素;即所获得铜矿石的天然化学成分导致了所制作的铜器属于纯铜或各种铜合金,较少存在人为地系统性干预化学成分的因素。中国各地多样化的铜矿资源也为早期制作出不同化学成分的铜器提供了基本的条件^[3, 12-13, 15, 17]。或许公元前 2000 年之前人们可以根据积累的经验,以特定比例混合就近获得的不同铜矿石,进而客观地控制了铜器的化学成分,并实现了较好的铜器性能。但就当时的认知水平和生产能力,人们尚难以产生《考工记》所描述的那种有目的地对铜器成分定量控制的认知,也难以大规模调动相距遥远的不同地区铜矿石进而混合制作出特定化学成分的铜器。

结束语

公元前 3000 年以前中国多地已经开始出现人工冶铜技术和铜器的使用,在公元前三千纪期间(公元前 3000 至前 2000 年)中国各地人工冶铜技术与铜器的使用呈现出逐渐普及的趋势。东亚地区的铜器最早主要出现于陕西、甘肃、青海、内蒙、新疆等中华文明圈的偏西北地区,以及山西、辽宁、山东等偏北方地区。公元前 3000 年之后,在山西、河南、乃至西藏相继出现铜器的同时期,铜器也出现于中华文明区周边更大范围的匈奴先祖地区和西域地区;这些周边撒满文化地区属于东亚文明区范围,与中华文明区有着密切的交往与联系,但鲜有受到更远方西亚地区的影响。由于认知水平的局限,当时铜器的不同化学成分难以系统性地受到人为控制,主要取决于各地铜矿资源原有的成分或附近不同矿石比例的经验性混合。

致谢:感谢北京科技大学科技史与文化遗产研究院陈

坤龙教授为本文提供的宝贵咨询。

参考文献

- [1] 毛卫民,王开平.人工冶铜技术与文明时代的概念.金属世界,2023(2): 28
- [2] 毛卫民,王开平.关于远古时期中国人工冶铜技术“西来说”.金属世界,2023(6): 47
- [3] 丁坤,王瑞廷,秦西社,等.陕西陈家坝铜铅锌多金属矿床 C、H、O、S、Sr 同位素地球化学示踪.矿床地质,2019,38(2): 355
- [4] 华觉明.中国古代金属技术.郑州:大象出版社,1999
- [5] 毛卫民,王开平.欠发达铜器时代孕育的西方文明及其早期价值观念的特征.金属世界,2021(5): 1
- [6] 凡小盼,赵雄伟.史前黄铜器及其冶炼工艺.中国国家博物馆馆刊,2016(8): 142
- [7] 蔡全法.从黄帝铸鼎看我国古代鼎的起源与发展(上).文物鉴定与鉴赏,2011(8): 54
- [8] 王志俊.中国早期铜器的起源及发展.文博,1996(6): 30
- [9] 王璐.黄河流域早期铜器演进初探.中原文物,2022(1): 106
- [10] 肖成东,杨志达.内蒙赤峰北部两个重要的成矿带及其成矿特征.有色金属矿产与勘查,1997,6(4): 197
- [11] 杨虎,林秀贞.内蒙古敖汉旗红山文化西台类型遗址简述.北方文物,2010(3): 13
- [12] 魏永满,都卫东,石为江.夏河县龙得岗铜砷矿床类型及成矿模式分析.中国金属通报,2022(4): 90
- [13] 赵振东,康维良.甘肃青海一带斑岩型铜矿的分布及找矿标志.世界有色金属,2018(21): 44
- [14] 刘俊男,易桂华.中国早期冶铜遗迹的分布与冶铜起源研究.南方文物,2020(4): 115
- [15] 张忠利.新疆吉木乃县胡萨因阔拉斯铜矿地质特征及找矿前景分析.新疆有色金属,2011,34(2): 10
- [16] 张相鹏.2020—2021 年新疆考古收获.西域研究,2022(4): 68
- [17] 华泉.中国早期铜器的发现与研究.史学集刊,1985(3): 72
- [18] 杨虎.辽西地区新石器—铜石并用时代考古文化序列与分期.文物,1994(5): 37
- [19] 标准地图服务.亚洲地图 ASIA[2023-11-21].<http://bzdt.ch.mnr.gov.cn/browse.html?picId=%224028b0625501ad13015501ad2bfc2193%22>
- [20] 中国地图出版社.中国综合地图集.北京:中国地图出版社,1990
- [21] 张肇麟.夏商周起源考证.北京:科学出版社,2018
- [22] 晁福林.夏商西周的社会变迁.北京:中国人民大学出版社,2010
- [23] 张景明,马宏滨.俄罗斯境内漠北匈奴地发现的汉式宫殿主人考释.北方民族大学学报,2021(5): 105
- [24] 李崇新.新疆佛教传播的历史背景与嬗变特征.南京理工大学学报(社会科学版),2012,25(4): 117
- [25] 王鹏.论南西伯利亚及周边地区青铜时代早期的“月形器”.考

- 古, 2022(3): 69
- [26] 郭静云, 邱诗莹, 范梓浩, 等. 中国冶炼技术本土起源: 从长江中游冶炼遗存直接证据谈起(一). 南方文物, 2018(3): 57
- [27] 曹桂岑, 马全. 河南淮阳平粮台龙山文化城址试掘简报. 文物, 1983(3): 21
- [28] 张文军, 张志清, 樊温泉, 等. 河南鹿邑宋台遗址发掘简报. 华夏考古, 1989(1): 1
- [29] 胡春良. 山西省襄汾县陶寺遗址出土的铜齿轮. 铸造设备与工艺, 2020(1): 47
- [30] 赵芝荃, 郑光. 河南临汝煤山遗址发掘报告. 考古学报, 1982(4): 427
- [31] 徐建伟, 梅建军, 格桑本, 等. 青海同德宗日遗址出土铜器的初步科学分析. 西域研究, 2010(2): 31
- [32] 孙淑云, 韩汝芬. 甘肃早期铜器的发现与冶炼、制造技术的研究. 文物, 1997(7): 75
- [33] 何德亮. 试析早期铜器在文明进程中的地位. 南方文物, 2007(4): 92
- [34] 方辉. 海岱地区青铜时代考古. 济南: 山东大学出版社, 2007
- [35] 孙淑芸, 韩汝芬. 中国早期铜器的初步研究. 考古学报, 1981(3): 287
- [36] 马世之. 登封王城岗城址与禹都阳城. 中原文物, 2008(2): 22
- [37] 安金槐. 郑州牛砦龙山文化遗址发掘报告. 考古学报, 1958(4): 19
- [38] 李京华. 关于中原地区早期冶铜技术及相关问题的几点看法. 文物, 1985(12): 75
- [39] 邵晶. 石岭遗址与陶寺遗址的比较研究. 考古, 2020(5): 65
- [40] 霍巍. 试论西藏发现的早期金属器和早期金属时代. 考古学报, 2014(3): 327
- [41] 潜伟. 新疆哈密及其邻近地区史前时期铜器的检验与分析. 广西民族学院学报(自然科学版), 2004(2): 21
- [42] 邵会秋, 杨建华. 从夏家店上层文化青铜器看草原金属之路. 考古, 2015(10): 85
- [43] 郭泮溪. 对青岛海洋文明历史中几个问题的初步探讨. 东方论坛, 2009(5): 81
- [44] 中国社会科学院考古研究所. 胶县三里河. 北京: 文物出版社, 1988
- [45] 李延祥, 陈国科, 潜伟, 等. 敦煌西土沟遗址冶金遗物研究. 敦煌研究, 2018(2): 131
- [46] 毛卫民, 王开平. 金属的使用与中西方文明的发展(I): 铜器制造和使用的差异. 金属世界, 2018(5): 22
- [47] 陈振中. 先秦青铜生产工具. 厦门: 厦门大学出版社, 2004
- [48] 佚名. 考工记. 南京: 江苏凤凰科学技术出版社, 2016
- [49] 孙淑云. 中国古代矿冶文化的传承和发展. 黄石理工学院学报(人文社会科学版), 2010, 27(6): 1
- [50] 毛卫民, 王开平. 文明之初的文字与铜器. 金属世界, 2022(3): 1

作者简介: 毛卫民(1950—), 男, 北京科技大学退休教师。曾长期开展材料基本原理和应用技术的研究, 现从事材料技术进步与人类社会发展内在联系的分析, 著有《材料与文明》、《文明与物质——从材料学视角探索中西文明差异》、《文明的回荡——中西方文明特征差异的物质基础与演变概览》等著作。《金属世界》杂志社特邀作者。通信地址: 北京海淀区学院路30号北京科技大学材料学系, 100083; E-mail: wmmao@ustb.edu.cn。