

西北大学文化遗产研究丛书

秦早期青铜器 科技考古学研究

贾腊江 著



科学出版社

秦早期青铜器

科技考古学研究

2000 年



西北大学文化遗产研究丛书

秦早期青铜器科技 考古学研究

贾腊江 著

科学出版社

北京

内 容 简 介

本书选取甘肃礼县、陕西陇县、宝鸡、凤翔地区出土的秦早期青铜器为研究对象,利用金相显微镜、扫描电子显微镜、激光剥蚀等离子体质谱仪、多接收等离子体质谱仪、激光拉曼光谱仪等技术手段,对其金相结构进行观察,测定其中的主量元素、微量元素、铅同位素组成以及物相结构,探讨了秦早期青铜器的材质、制作技术、锈蚀情况及矿料来源。研究结果为早期秦文化研究提供了新的资料和途径。

本书可供历史学、科技考古学以及相关专业人员阅读、参考。

图书在版编目(CIP)数据

秦早期青铜器科技考古学研究 / 贾腊江著. —北京: 科学出版社, 2011. 7
(西北大学文化遗产研究丛书)

ISBN 978-7-03-031845-9

I. ①秦… II. ①贾… III. ①青铜器(考古) - 研究 - 中国 - 秦早期 IV. ①K876.414

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 137936 号

责任编辑: 海 宁 王淑云 / 责任校对: 张小霞
责任印制: 赵德静 / 封面设计: 北京美光制版有限公司

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

北京佳信达艺术印刷有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2011 年 7 月 第 一 版 开本: 787 × 1092 1/16

2011 年 7 月 第一次印刷 印张: 9 1/4 插页: 16

印数: 1—1 200 字数: 216 000

定价: 120.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

本书得到西北大学“211工程”重点学科建设项目“西部地区文化遗产保护与研究”、陕西省普通高校重点学科建设项目“考古学及博物馆学”及陕西省普通高校哲学社会科学特色学科建设项目“考古学与文化遗产学”出版资助

序

腊江同学的博士论文《秦早期青铜器科技考古学研究》就要出版了，这无论如何是件具有积极意义的事情。

当今中国考古学深入发展的一个重要表现，就是运用现代科学技术手段进行考古研究取得了前所未有的进展。多种现代科技手段的采用，使得获取更丰富的考古信息成为可能，其对于拓展和深化考古学研究内容与层次所发挥的作用是有目共睹的。

中国古代相当长的阶段里，青铜铸造曾作为先进生产力水平的代表。青铜器所承载的文化内涵十分丰富，众多的青铜遗物是当今考古研究的重要对象。应用现代科技手段对青铜器进行研究，已较早受到学界的重视，在揭示中国古代青铜冶铸技术发展及其相关问题的探究方面，取得了不少有益的成果，同时也为可持续研究打造了重要的基础。

在中国考古学领域中，秦文化作为重大研究命题由来已久，而近年人们更将关注力瞄向早期秦文化，其亦由于学者们卓有成效的努力而取得了令人振奋的收获，这自然包括了许多考古新发现和相关研究。这个过程中我们也意识到，作为早期秦文化重要构成的青铜器，以现代科技方法对其做相应的研究是必要和紧迫的。腊江同学适时担当了这一大任，完成了该课题初步的研究，值得肯定。

论文在借鉴前人研究经验的基础上，运用金相分析、微量元素分析、铅同位素分析等方法，对秦早期青铜器的金相特征、微量元素特征及其矿料来源诸问题进行了探讨，提出了一些应受到重视的看法。需要指出的是，论文讨论中尝试采用了激光剥蚀等离子体质谱仪（LA-ICP-MS）分析青铜器中的微量元素，是值得注意的。该方法具有实时、快速的分析优势以及灵敏度高、检出限低、空间分辨率高、谱线相对简单、多元素同时测定等诸多优点，用于痕量样品的分析或者高纯样品中的超痕量目标元素的分析时，具有相当的优势，当有看好的应用前景。论文还采用显微激光拉曼光谱法分析青铜器中相的物质结构。该技术以其信息丰富、制样简单、干扰小等独特的优点，已被用于颜料、壁画、玉器、青铜表面锈蚀物等物质结构的分析。但利用该技术分析青铜内部微观相的结构，此算是初次的尝试。这些或许可视为本论文在研究方法上的新意所在。

论文还存在有待加工提升的较大空间，如对于现已检测到的数据，结合考古学讨论还不够深入，即使对样品检测结果本身的解释，也有不尽人意之处，这些都是需要在相关后续研究中进一步加强和弥补的。在此意义上，我更愿意将现有的研究看作为学界关于此话题进一步探讨的平台和基础。

我深知，在科学研究的道路上每一点进步，都要付出艰辛的，腊江在完成该论文过程中所做的努力，更使我坚信了这一点，但腊江在此领域研究中需要走的路还很长，望以不懈的意志，不断迈向前进！

赵丛苍

2011年6月28日

目 录

序	赵丛苍 (i)
第1章 绪论	(1)
1.1 研究目的	(1)
1.2 研究时空范围的界定	(2)
1.2.1 秦人的早期历史	(2)
1.2.2 研究时间范围的界定	(4)
1.2.3 研究空间范围的界定	(4)
1.3 秦早期青铜器研究现状	(5)
1.3.1 秦早期青铜器研究情况综述	(5)
1.3.2 秦早期青铜器研究的不足	(6)
1.4 研究内容和研究方法	(6)
1.4.1 研究内容	(6)
1.4.2 研究方法	(7)
1.4.3 采样原则和制样方法	(8)
参考文献	(8)
第2章 秦早期考古发现及研究取样情况	(11)
2.1 秦文化墓葬考古发现情况	(11)
2.1.1 甘肃东部	(11)
2.1.2 长陇地区	(12)
2.1.3 宝鸡地区	(13)
2.1.4 西安及周边地区	(16)
2.2 秦早期青铜器发现情况	(17)
2.3 本书取样情况	(19)
参考文献	(22)
第3章 秦早期青铜器的金相分析	(25)
3.1 金相分析基本原理	(25)
3.2 样品制备过程	(25)
3.3 实验仪器及条件	(26)

3.4	实验结果	(27)
3.4.1	宝鸡地区出土青铜器样品金相特征	(27)
3.4.2	凤翔地区出土青铜器样品金相特征	(30)
3.4.3	陇县地区出土青铜器样品金相特征	(41)
3.4.4	礼县地区出土青铜器样品金相特征	(71)
3.5	讨论	(80)
3.5.1	兵器	(80)
3.5.2	青铜建筑构件	(81)
3.5.3	青铜容器	(82)
	参考文献	(83)
第4章	秦早期青铜器的铅同位素分析	(84)
4.1	铅同位素分析原理	(84)
4.2	实验仪器和测试步骤	(84)
4.3	实验结果及分析	(85)
4.3.1	宝鸡地区青铜器铅同位素分析	(85)
4.3.2	凤翔地区青铜器铅同位素分析	(86)
4.3.3	陇县地区青铜器铅同位素分析	(87)
4.3.4	礼县地区青铜器铅同位素分析	(89)
4.4	讨论	(90)
4.4.1	秦早期青铜器铅同位素分析	(90)
4.4.2	秦早期青铜器样品本体和补块铅同位素分析	(91)
4.4.3	秦早期青铜兵器铅同位素分析	(92)
4.4.4	陇县出土商代铜鼎本体样品铅同位素分析	(93)
	参考文献	(94)
第5章	秦早期青铜器的微量元素分析	(96)
5.1	微量元素分析原理	(96)
5.2	仪器原理及特点	(97)
5.3	实验仪器及实验条件	(97)
5.4	实验过程	(99)
5.5	测试结果与讨论	(100)
5.5.1	同一器物不同部位微量元素分析	(103)
5.5.2	同一器物本体与补块的微量元素分析	(104)
5.5.3	同一地区出土青铜器的微量元素特征	(105)
5.5.4	同一时期(春秋时期)不同地区青铜器微量元素组成特征	(107)
5.5.5	不同时期青铜器微量元素组成特征	(108)
	参考文献	(109)

第 6 章 秦早期青铜器的拉曼光谱分析	(110)
6.1 拉曼光谱基本原理	(110)
6.2 实验仪器和条件	(110)
6.3 实验结果	(111)
6.3.1 宝鸡地区样品的拉曼光谱分析	(111)
6.3.2 凤翔地区样品的拉曼光谱分析	(113)
6.3.3 陇县地区样品的拉曼光谱分析	(116)
6.3.4 礼县地区样品的拉曼光谱分析	(119)
6.4 讨论	(121)
参考文献	(122)
第 7 章 秦早期青铜器矿料来源探析	(124)
7.1 铅同位素指征铅料源与铜料源的基本原理	(124)
7.2 秦早期青铜器主量元素与铅同位素数据	(124)
7.3 秦早期青铜器铅料来源分析	(127)
7.3.1 与殷商青铜器的铅同位素比较	(127)
7.3.2 与周边铅矿源的铅同位素比较	(127)
7.3.3 讨论	(129)
7.4 秦早期青铜器铜料来源试析	(129)
7.4.1 铅含量 <2% 和 >3% 的青铜器中铅同位素比值分析	(129)
7.4.2 秦早期青铜器与周边铜矿源铅同位素比较	(130)
7.4.3 讨论	(131)
7.5 小结	(131)
参考文献	(132)
第 8 章 结语	(133)
后记	(135)

第1章 绪 论

1.1 研究目的

在中国文明发展史上，秦朝是第一个统一的、多民族的封建帝国，其社会制度和灿烂文化彪炳于世。纵观秦文化，其上承商周，下启汉唐，在中华文明史上具有十分重要的地位，因此对秦历史文化的研究成为历史学和考古学研究中关注的重点。然而由于文献记载过于简单，秦统一前的历史比较模糊，因此对秦人早期历史的研究是当前学术领域的前沿课题。秦早期历史的研究不仅对中国古代史的研究意义重大，对探讨中国文明的起源与早期发展也具有不可替代的作用。早期秦文化的热点集中在秦人的起源、秦文化形成及其早期都邑与陵墓制度等问题上，对秦早期青铜器的研究则相对比较薄弱。

青铜（铜和锡、铅的合金）是金属史上的合金之一，是人类历史上一项伟大的发明，它的出现使世界文明史进入一个新的时代——青铜时代。青铜工业是青铜时代的经济基础，对于铜、锡、铅等青铜原料的控制和攫取必然是统治王朝与周边地区诸方国的统治阶层特别关注的事情。因此，对古代青铜器矿料产地的溯源，能有助于揭示古代青铜原料的开采地区和流通途径，间接推断古代不同国家与不同文化之间的关系。所以，利用青铜器研究所获得的信息，能进一步探讨与之相关的古代生产技术水平、社会结构、不同区域和民族间的文化交流等深层次的问题。作为秦文化的重要物质遗存，秦早期青铜器兼具物质文化和精神文化两方面的内涵，是秦文明的重要载体，也是当时社会生产力发展水平的标志物，蕴涵着丰富的历史文化和古代科技的信息，对秦早期青铜器的研究将有助于对秦文化的诠释。

近年来随着中国境内考古工作的不断展开，数量众多的重要考古遗址和遗迹相继发现，使得大量青铜器呈现在世人面前。自20世纪50年代，尤其是80年代以后，随着秦始皇兵马俑军阵的发现和凤翔秦公陵园的发掘，秦文化研究迅速升温，为全面考察秦国青铜器培育了文化土壤。90年代中后期，甘肃礼县大堡子山秦陵的发现和圆顶山秦贵族墓葬的发掘，则为改变秦国青铜器研究的滞后状况带来了希望。尤其是2004年以来，在甘肃省文化局的大力支持下，甘肃省文物考古研究所、陕西省考古研究所、中国国家博物馆、北京大学考古文博学院、西北大学考古系共5家单位组建联合考古队，对属于秦人早期活动地域的西汉水流域、渭河上游及其支流进行了较大规模的考

古调查、发掘和综合性的研究，为廓清秦人早期历史的发展脉络、探索秦文化渊源提供了更多的考古资料。然而利用现代科技检测手段，对秦早期青铜器进行较为系统的科技考古学研究却一直是个学术空白点。西北大学在考古学（尤其是秦早期活动区域考古工作的积累）、地球化学、金属材料学、现代分析测试技术等方面的专业优势资源是完成这一任务的最好的保证，因此利用多学科交叉优势，开展秦早期青铜器科技考古学研究，便是本书的研究目的。

1.2 研究时空范围的界定

1.2.1 秦人的早期历史

据《史记·秦本纪》记载^[1]，秦之先为五帝时代东方部族帝颛顼之苗裔孙女修（表1-1），女修生大业，大业子大费佐大禹平水土受到舜帝的赏识，“佐舜调驯鸟兽，鸟兽多服，是为柏翳。舜帝赐姓嬴”。大费生二子为大廉和若木。子孙或在中国，或在夷狄。

表 1-1 秦世系表

女修——大业——大费——大廉……孟戏——中衍……中湫——蜚廉——恶来革——女防——帝皋	└ 若木……费昌	└ 季胜——孟增——衡父——造父
——太几——大骆——成		
└ 非子（秦嬴）——秦侯——公伯——秦仲——庄公——襄公——文公——静公（未享国）——宪公（宁公）——出公		
武公		
德公——宣公		
成公		
穆公——康公——共公——桓公——景公——哀公——夷公（早死，未享国）——惠公		
——悼公——厉共公——躁公		
怀公——灵公（怀公孙）——献公——孝公——惠公王——武王——昭襄王——孝文王		
简公（怀公子）——惠公——出子		
——庄襄王——秦王政（秦始皇）——秦二世——孺子婴		

大费玄孙费昌在夏桀时去夏归商，为商汤御。大廉玄孙中衍为太戊御，其后“遂世有功，以佐殷国，故嬴姓多显，遂为诸侯”。中衍玄孙中湫“在西戎，保西垂”。商末之时嬴秦已在西垂地区（即今甘肃礼县一带）^[2,3]。

西周时期，秦之先又臣服于周王朝。“孟增幸于周成王”，其孙造父幸于周穆王，为穆王御。造父在平定徐偃王之乱中有功，被封于赵城，此为赵氏。周孝王时期，嬴秦首领大骆的庶子非子善养马而得到重用，为周孝王养马于汧、渭之间，“马大蕃息”，得为附庸，封邑于秦，“使复续嬴氏祀，号曰秦嬴”。秦地就在其为王室牧马的“汧渭之间”（今宝鸡以西）。同时，大骆的嫡子成仍居犬丘。秦邑为嬴秦一族的第一座都邑。

周厉王时，爆发了西戎反抗周王朝的战争。《史记·秦本纪》记载“周厉王无道，诸侯或叛之。西戎反王室，灭犬丘大骆之族”。大骆嫡子成这一支的嬴姓族群遭受了灭族之灾。犬丘是早期秦人赖以生存的主要聚居地，同时也是周王朝统治西垂的主要据点之一。犬丘的陷落在一定程度上意味着周王朝在陇右统治地位的丧失。

周宣王即位后，扶植非子一支开始了对戎战争，这也是嬴秦一族壮大的开始。周宣王以秦仲为大夫，使伐西戎，秦仲战死。陇右地区紧邻关中，如果戎患进一步扩大，关中的安全必然受到威胁，这将影响到西周王朝的统治。于是宣王又召秦仲长子庄公昆弟五人，与兵七千，使伐西戎。最终秦庄公不辱使命，伐西戎并破之，收复了犬丘故地。周宣王以庄公为“西垂大夫”，并将秦之先大骆、非子等居住过的犬丘故地一并赐给了庄公，于是非子所邑之秦地与大骆犬丘故地连成一片。庄公将都邑迁到了犬丘（或称西犬丘）。因此，犬丘和秦邑是秦最早的都邑所在。

秦人在西周王室的扶植下，其实力和领地得到了空前的发展与壮大。但是，秦人与西戎的战争还是相当激烈，在一定程度上威胁着秦人的生存。襄公二年，西戎围攻秦都犬丘，并俘虏了襄公兄世父，西戎的威逼对秦构成了极大的威胁。襄公为了暂避西戎一时之锋芒，被迫东越陇阪，迁都于汧。20世纪80年代于今陕西陇县城东南的边家庄和磨儿塬村先后发现春秋时期的贵族墓地和城址，其地与文献所载襄公都汧的地望基本相合，当为襄公所迁汧邑之所在。襄公徙汧也是秦人东扩的开始。

襄公七年，犬戎寇周，周平王东迁洛邑，襄公救周有功，被封为诸侯，“赐之岐以西之地”，秦在襄公时才正式建立了诸侯国。汧邑由于其处于陇右东进关中的交通枢纽地区，成为秦东略过程中在关中所建的一个立足点。秦人正是以此为据点，开始了驱逐岐、丰之地诸戎的斗争，以实现周平王的“秦能攻逐戎，即有其地”的承诺。襄公虽已徙汧，但犬丘之地仍然为秦人的大本营，一些重大活动仍在西犬丘进行。襄公、文公死后归葬西垂即是一证。

文公四年，秦人的都邑迁到关中西部“汧渭之会”，迈出了国势东拓的关键一步。文公十六年，取得了对戎人战争的巨大胜利，秦人的统治地至岐，“收周余民有之”，秦人承袭西周王畿地区先进的农业和手工业基础，为后来秦人的逐步强大奠定了基础。

随着秦人一步步东扩，秦都邑也随之不断迁移。宪公（公元前715～前704年）自汧渭之会徙至平阳，学界一般认为平阳在今宝鸡市陈仓区阳平镇以西的区域内，该地区曾多次出土秦早期青铜器。

德公（公元前677～前676年）自平阳徙都至雍，雍城作为秦都邑延续了近300年。雍城地区的秦文化遗存数量多、类别丰富、年代延续时间长，甚具代表性。

秦穆公（公元前659～前621年）时“广地益国，东服强晋，西霸戎夷”，成为“春秋五霸”之一。献公（公元前384～前362年）自雍徙至栎阳，孝公（公元前361～前338年）任用商鞅“变法修刑，内务耕稼，外劝战死之赏罚”，秦国不断强大，徙都咸阳，秦国开始了逐鹿中原，进入政治、经济、文化、外交全面发展的新

时代。公元前 316 年，秦灭蜀，秦国以关中平原和四川盆地为战略基地，成为“战国七雄”中力量最为强大的一支，开始了兼并六国的战争。公元前 221 年，秦灭六国，统一中国。

1.2.2 研究时间范围的界定

由以上讨论可知，秦文化的渊源可追溯到夏代甚至更早，其发展历程经历了商、西周、东周、秦代几个时期。但就秦青铜器的发现来看，迄今所知时代最早的实物为西周晚期的。西周末年春秋初期是秦文化形成的关键时期，春秋时期又正值古代中国青铜器制作迈向第二个高峰的时期，这一时段的秦青铜器既能反映其渊源，又在一定程度上代表了自身的发展轨迹。故本书的研究时间范围为西周晚期至春秋中期。为了便于对比，也采用了西周晚期之前和春秋中期之后的个别青铜器样品。

1.2.3 研究空间范围的界定

从史书记载和考古材料来看，秦人的活动空间主要集中在以西犬丘（西垂）、秦、汧、汧渭之会、平阳、雍、泾阳、栎阳、咸阳等都邑为中心的区域（图 1-1），也就是说秦人的活动区域主要在甘肃省东部和陕西关中地区。

经学者们研究，在以上所列的都邑中，泾阳为都可能只是灵公一世^[4]，栎阳为临时性陪都或军事重镇^[5,6]；而且，自献公以后，秦与东方诸国在政治、军事、经济、文化等方面交往频繁。为了更好地掌握秦早期青铜器自身所具有的特点和发展脉络，本文将研究空间基本界定在雍城以西，即甘肃东部陇南、天水及陕西西部长陇地区和宝鸡地区，也吸收了雍城遗址出土的春秋中期的部分资料。

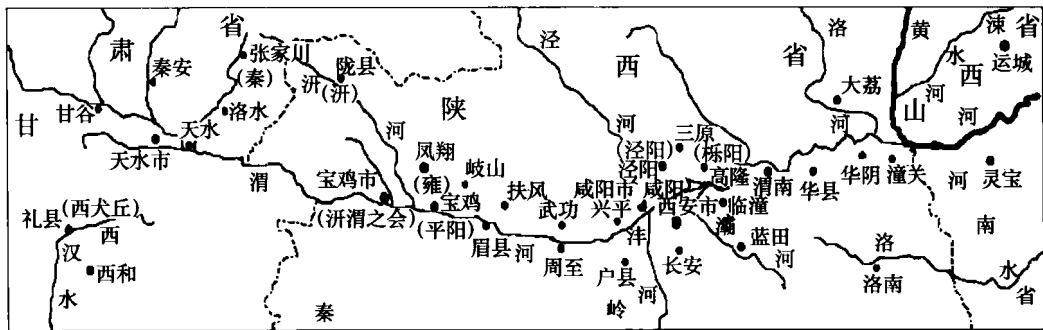


图 1-1 秦都城^[4]

1.3 秦早期青铜器研究现状

1.3.1 秦早期青铜器研究情况综述

中国青铜器的研究始于金石学。20世纪中后期,学者的目光突破了以往重点关注铭文及文字训诂的藩篱,开始从器类、形制、组合、纹饰、铭文、工艺等各方面,对青铜器做全方位的考察、探索,进而联系青铜器产生的时代背景,辨析其精神内涵,并且和历史研究紧密结合,形成了一门独立的综合性学科。

与中国青铜文化的研究成为国际性显学趋势不同步的是,秦青铜器的研究相对较少。虽然早在1931年,容庚先生就有《秦金文录》成书(这是秦青铜器著录专书的开始),但20世纪80年代以前由于公布资料较少,秦青铜器的研究亦罕见。80年代之后,随着资料的陆续刊布、早期秦文化考古工作的不断增多以及专题讨论会的召开,秦青铜器研究逐渐步入轨道。大致分析,秦早期青铜器的研究主要表现在以下四个方面。

(1) 秦早期青铜器资料的公布和考释。主要有澳门萧春源先生将所藏秦青铜器编纂成书^[7],祝中熹和李永平公布在甘肃发现的秦青铜器^[8],以及相关的考古发掘报告和简报(详见第2章)。

(2) 秦早期青铜器的分期断代和文化特征研究。陈平先生分析了秦墓随葬的青铜容器,最早建立了关中地区秦青铜容器的序列^[9],是秦青铜器研究的开山之作。李学勤先生讨论了春秋前中期的秦器,其中提到青铜器^[10]。滕铭予先生对秦墓随葬的铜、陶器进行了类型研究和文化因素的分析^[11]。梁云在博士学位论文中亦初步分析了秦青铜器的特征及其年代^[12],为秦早期青铜器的研究提供了基础。近年来,郭明和刘牧等一些研究生也以秦青铜器为题进行了分期研究。

(3) 秦早期青铜器的器类及其铭文研究。青铜容器有秦公鼎、簋、壶^[13-22];青铜乐器主要集中在对秦公钟、铎的研究上^[23-25];秦铜兵器特点明显,研究文章亦多^[26-31]。在对秦青铜器综合研究的基础上,王辉还对秦铜器上的铭文进行了编年集释^[32],陈昭容在《秦系文字研究》一书中也涉及秦早期青铜器铭文^[33]。

(4) 对秦铜器铸造情况的探索。尚志儒认为董家村青铜器的器主裘卫家族属于嬴姓氏族,并推测秦人在西周中期以前已产生了自己的青铜铸造业,秦人的青铜铸造业经历了简单模仿、熟练仿制、承前启后、全新发展四个阶段^[34]。王辉和萧春源对珍秦斋藏秦青铜戈上的铭文进行仔细考证和引证后,认为“内史操左之造”极可能是内史操佐助丞相监造,此戈反映了秦兵器铸造制度的重大变化,极为珍贵^[35]。

随着秦子器的不断出土,学者对其研究亦相应深化。秦子所做的铜器主要有钟、铎、矛、戈、盃、簋等10余件,器类有乐器、兵器和容器^[36]。有铭秦子器的年代基本为春秋早期,学界对秦子展开了热烈的讨论^[37-47]。

1.3.2 秦早期青铜器研究的不足

当前,许多新兴的交叉学科如雨后春笋般不断涌现出来,其中科技考古学就是人文学科中的考古学与自然科学相互渗透交叉的产物,科技考古学是利用自然科学的理论方法和技术,分析古代实物资料,从中提取古代人类的活动信息,用以探讨古代人类行为、生存方式、生产技能以及人与自然的关系及其发展规律的一门学科。运用现代科技方法研究和解释古代文物中丰富的文化与科技信息,已取得了如“夏商周断代工程”、“中华文明探源工程”等诸多重要和重大的研究成果,也对我国人文科学和自然科学的共同进步起到了积极的促进作用。因此古代文物研究不仅受到了人文科学界的重视,而且引起了自然科学界的广泛关注,现在有许多从事自然科学研究的学者或具有深厚自然科学基础的研究人员加入到中国古代文化遗产的研究中来。但要创新古代青铜器研究的基本理论、完善实验测试手段、建立基础数据库,还需要一段较长的时间。

秦青铜器虽以其明显的自身特色受到了早期秦文化研究学者的广泛关注,但在对秦早期青铜器的考古文化信息、制作技术、矿料来源等方面系统的、综合的研究却比较少见。至今还没有一部系统、全面研究秦国青铜器的专著问世,对秦国青铜器的发展演变规律及风格特征、工艺造诣,还有待于切实而深入地阐述与论证。尤其是利用现代科技检测手段,对秦早期青铜器内包含的诸多文化科技信息进行较为系统的科技考古学研究,还一直是个学术空白点。

1.4 研究内容和研究方法

1.4.1 研究内容

本书主要从以下四个方面对秦早期青铜器展开科技考古学研究。

(1) 秦早期青铜器制作工艺研究。青铜器的制作是古代劳动人民智慧的结晶,在青铜器制作过程中,因原料的不同、器物用途有别,需要采用不同的制作工艺。在观察秦早期青铜器微观结构特点的基础上,揭示不同时期、不同地域秦青铜器的合金生成、浇铸以及制作工艺特点,进而可以了解秦早期青铜器的制作技术水平。

(2) 秦早期青铜器材质研究。青铜因其中铅、锡等元素含量的不同,有铅青铜、锡青铜、铅锡三元合金青铜之分,测试青铜器样品中的铜、锡、铅等主量元素的含量,可揭示秦早期青铜器的材质特点。

(3) 秦早期青铜器矿料来源研究。文物产地与矿料来源研究,是科技考古研究中开展最早且一直受到重视的领域之一,微量元素和铅同位素是目前探讨青铜器矿料的

常用方法。测定青铜器样品中的微量元素和铅同位素，并借鉴相关的研究成果进行综合分析，可了解秦早期青铜器的矿料来源。

(4) 不同时期不同地区秦青铜器对比研究。秦的发展史亦是其与周邻地区的文化交流史，通过解读秦早期青铜器的各种分析数据，对比研究秦国及其与周邻地区不同时期青铜器之间工艺和原料的异同，可以追溯早期秦文化传播的源脉。

1.4.2 研究方法

金相分析

美国金属学会 (ASM) 对于名词“金相学”给出如下定义：金相学是涉及金属及合金组织与结构的科学，研究手段包括肉眼观察和采用低倍放大镜、光学显微镜、电子显微镜观察及 X 射线衍射等各项技术。金相学研究始于 1863 年英国人 H. C. Sorby 利用显微镜观察经过抛光腐蚀处理的钢铁试片的实验^[48-50]。青铜器金相研究就是利用光学显微镜或其他先进仪器，如电子显微镜、电子探针、显微硬度计、X 射线衍射仪和 X 射线荧光仪等，对青铜器样品（包括铅锡焊料、各种镀层等）的显微结构和各项性能进行研究，探讨其相互影响的关系，研究青铜器的铸造和加工工艺以及腐蚀情况等内容^[51-54]。

铅同位素分析

1927 年，阿斯顿 (F. W. A. Aston) 首次用质谱计测定普通铅的同位素以后，铅同位素在研究金属矿床成因、成矿物质来源、成矿时代及演化历史，以及在找矿、勘探评价中发挥了重要的作用^[55]。自 1962 年以来，R. H. Brill 发表了大量的铅同位素考古技术的研究论文，揭起了铅同位素考古的大幕^[56]。迄今为止，铅同位素考古成为中国考古界解决文物矿料来源的一个重要手段，获得了一大批重要的成果。

本书的研究对象符合铅同位素分析的前提条件。同时，值得指出的是早期秦文化在分布范围和时间上是一定的，因此，铅同位素变化情况会相对简单一些，得到的结果也会更加接近真实情况。

微量元素分析

地球岩石中的微量元素含量很少，但其地球化学性质一般比较稳定。这是因为它们的地球化学行为通常受物理学中的亨利 (Henry) 定律制约，在地质作用及岩浆分异作用过程中，不参与岩石化学平衡反应，一般不受常量 (主量) 元素含量的约束和习性的影响。因此，岩石的微量元素地球化学特征往往很好地保存了有关成岩 (或成矿) 物质来源及形成时地质构造环境的信息，成为一种独特的地球化学“指纹”^[57]。这就为我们利用微量元素示踪文物产地和矿料来源提供了理论依据。当然并不是所有的微量元素都可以作为青铜文物矿料来源的“指纹”元素 (具体情况在第 5 章中讨论)。

拉曼光谱分析

1928 年，印度物理学家拉曼 (C. V. Raman) 首先从实验上发现了拉曼效应。随后