



绛县横水西周墓地

青铜器科技研究

山西省考古研究所 编著



科学出版社



绛县横水西周墓地青铜器 科技研究

山西省考古研究所 编著
宋建忠 南普恒 主编

科学出版社

北京

内 容 简 介

本书使用元素分析技术、结构分析技术、同位素分析技术和显微分析技术,对绛县横水西周墓地青铜器的合金成分、微量元素、铅同位素、金相组织、铸造特征及器表锈蚀、残留泥芯、纺织品残片进行了全面、细致的测试分析,并主要就青铜合金技术、范铸技术、矿料来源、铸造产地等冶金考古中的热点问题进行了认真探讨,为晋系青铜器和晋文化的深入研究提供了新的材料和证据。

本书可供从事文物保护与修复专业及科技史专业的科技人员、相关文物科技工作者及考古学研究者阅读与参考。

图书在版编目(CIP)数据

绛县横水西周墓地青铜器科技研究 / 宋建忠, 南普恒主编; 山西省考古研究所编著. —北京: 科学出版社, 2012

ISBN 978-7-03-035003-9

I. ①绛… II. ①宋…②南…③山… III. ①青铜器(考古) — 研究 — 绛县 — 西周时代 IV. ①K876.414

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 134387 号

责任编辑: 孙 莉 樊 鑫 / 责任校对: 包志虹

责任印制: 赵德静 / 封面设计: 美光制版

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>

北京通州皇家印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2012 年 7 月第 一 版 开本: 889 × 1194 1/16

2012 年 7 月第一次印刷 印张: 15 1/4 插页: 16

字数: 418 000

定价: 186.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

谨以此书献礼山西省考古研究所六十华诞

山西省科学技术厅

山西省科技攻关计划项目（农业与社会发展）

横水西周墓地青铜器科技保护研究（20100312040）课题资助

国家文物局

2011 年国家重点文物保护单位专项补助经费

绛县横水西周墓地青铜器健康评测课题资助

序

长期以来，尽管仅为风闻，但宋建忠先生治学严谨、重视科技、推崇公众考古的形象应毋庸置疑。2005年，宋国定教授调入我系后，宋建忠先生是他经常谈起的同窗之一，致使我的印象不断加深。翌年，时任河北省文物研究所所长曹凯研究员邀请我和宋建忠所长到该所作学术报告，为我们直接交谈创造了难得的条件。那一次，宋所长的报告主要介绍了绛县横水西周墓地的发掘和研究进展，虽然如今回忆不清他的报告细节，但他那严格的发掘程序、敏锐的科研思路、丰富的科技分析以及别开生面的公共考古活动，已深深印在了我的脑海中。

自那之后，我和宋建忠所长的联系频繁起来。记得2007年，我的硕士研究生凡小盼从中国科学技术大学毕业后，拟到山西省考古研究所工作，并作为该所的在职博士研究生到中国科学院研究生院继续深造。宋建忠所长欣然允诺。尽管因进入指标问题终未成真，但宋所长关心科技、重视人才，由此可见一斑。

实际上，早在2006年11月，在宋所长的关心和支持下，山西省考古研究所便创建了科技考古室，并陆续引进理工科人才，组建了以青铜器科技保护修复、地理信息系统及三维激光扫描等业务为主的科研团队。秦颖老师和我共同指导的另一位硕士研究生——南普恒于2008年毕业后，即被吸引到该所科技考古室工作。南普恒工作努力、思维敏捷，曾被评为中国科学技术大学的优秀毕业生，也是我颇为器重的弟子之一。短短3年时间，在宋建忠所长的支持和指导下，他的业务水平得以迅速提高。不久前，宋建忠所长告诉我，他与南普恒合作完成的《绛县横水西周墓地青铜器科技研究》将由科学出版社出版，并邀我为之作序。我听后半信半疑，未敢当即应允，不过，出于友情和对宋建忠所长、南普恒同学的基本了解，我还是明确表示，俟阅读后再作决定。

认真读完书稿后，我深感这是一部值得出版的著作。绛县横水西周墓地曾被评为2005年全国十大考古新发现之一，其重要性自不必说，而该墓地的发掘于2006年荣获国家田野考古一等奖，更反映了发掘工作的严谨和水平。虽然该墓地最有影响的似乎是年代最早、面积最大的荒帷，但其青铜器群发现的意义同样不应低估。首先，青铜器的铭文揭示并证实了邰国的存在，为研究西周史，特别是晋国史提供了极为珍贵的实物和文献资料，其次，这批不可多得的邰国青铜器系何国铸造？宗主国？晋国？邰国？还是其他诸侯国铸造？甚至是否为民间铸造？捋清这一问题，对了解西周的国家结构、青铜器的铸造机构，皆有着十分重要的意义。这部著作采用了多种自然科学的分析方法，对绛县横水西周墓地青铜器群的合金成分、微量元素、铅同位素、金相组织、铸造特征以及器表锈蚀、残留泥芯、纺织残品进行了较为全面而细致的测试分析，并认真探讨了范铸技术、矿料来源和铸造产地等热点问题。

山西是晋文化的发源地，晋国的青铜器蕴含着晋国政治、经济、文化及科技等丰富信息。如何通过青铜器等研究，以物见人，以物见史，一定意义上可以说，这部著作作了有益的尝试，相信它将如引玉之砖，激发起人们对晋文化科技考古的浓厚兴趣。

当然，新生事物难免有不足之处，例如，对于青铜工艺特征所反映的经济和社会等问题，讨论不够深入，某些结论或许还有待商榷或进一步验证。然而，我坚信，他们的后续研究将逐步补充和完善有关内容，不断将问题引向深入。

今年，正值山西省考古研究所成立六十周年，山西的同行们有理由为之骄傲和自豪。山西是我国文物大省之一，无比丰富的文化遗产，为考古学和科技考古学提供了得天独厚的条件。我愿以此作序之机，向宋建忠和南普恒致以衷心的祝贺，向山西省考古研究所六十华诞致以热烈的祝贺！与此同时，预祝山西省的同行们在今后的工作中，取得更为辉煌的成就！

王昌燧

2012年6月24日

目 录

序	王昌燧 (i)
第一章 绪论	(1)
1.1 横水西周墓地概况	(1)
1.2 科技考古研究现状	(2)
1.3 研究的目 的及内容	(3)
第二章 合金技术研究	(4)
2.1 引言	(4)
2.2 实验材料	(4)
2.3 研究方法	(5)
2.3.1 测试仪器及实验参数	(5)
2.3.2 合金成分划分标准	(5)
2.4 实验结果	(6)
2.4.1 青铜容器合金成分	(6)
2.4.2 青铜兵器合金成分	(14)
2.4.3 青铜工具合金成分	(17)
2.4.4 车马器合金成分	(18)
2.5 合金技术特点	(21)
2.5.1 合金成分结构	(21)
2.5.2 合金性能	(22)
2.6 西周青铜器合金技术	(26)
2.7 山西商周青铜器合金技术	(30)
2.8 合金技术比较	(34)
2.8.1 西周青铜器合金技术	(34)
2.8.2 山西商周青铜器合金技术	(36)
2.9 小结	(38)
第三章 金相学研究	(39)
3.1 引言	(39)
3.2 研究方法	(39)
3.3 实验材料	(40)
3.4 实验结果	(40)
3.4.1 青铜容器金相组织	(40)

3.4.2 青铜兵器金相组织	(77)
3.4.3 青铜车马器金相组织	(84)
3.5 制作技术及金属材质	(91)
3.6 金属组织结构	(92)
3.6.1 铸造组织	(92)
3.6.2 加工组织	(95)
3.7 金属材质质量	(96)
3.8 小结	(96)
第四章 矿料来源探讨	(97)
4.1 引言	(97)
4.2 铅同位素比值示踪	(97)
4.2.1 技术原理	(97)
4.2.2 测试分析	(98)
4.2.3 铅同位素比值特征	(99)
4.2.4 铜矿料来源探讨	(102)
4.2.5 西周青铜器铅同位素比值比较分析	(106)
4.2.6 西周锡器铅同位素比值比较分析	(117)
4.3 微量元素示踪	(119)
4.3.1 技术原理	(119)
4.3.2 测试分析	(119)
4.3.3 与其他地区青铜器比较分析	(121)
4.3.4 与周原扶风李家铸铜遗址残铜片比较分析	(125)
4.3.5 与古矿冶遗址铜矿或出土铜锭比较分析	(126)
4.4 小结	(130)
第五章 铸造产地研究	(131)
5.1 引言	(131)
5.2 研究方法	(131)
5.3 实验材料	(132)
5.4 岩相分析	(133)
5.5 X射线衍射分析	(137)
5.6 主量元素分析	(143)
5.7 稀土元素分析	(145)
5.8 小结	(147)
第六章 铸造技术考察	(148)
6.1 引言	(148)
6.2 铜鼎	(148)

6.3 铜簋	(160)
6.4 铜鬲	(172)
6.5 铜甗	(175)
6.6 铜盘	(178)
6.7 铸造方法	(181)
6.8 分型方式	(182)
6.9 铜马衔环套铸造技术	(186)
6.10 垫片和芯撑的使用及设置	(187)
6.11 半盲芯和盲芯的使用及设置	(189)
6.12 底范刻划	(190)
6.13 小结	(191)
第七章 锈蚀产物科学分析	(193)
7.1 引言	(193)
7.2 样品简介	(193)
7.3 元素分析	(196)
7.4 物相分析	(196)
7.4.1 X射线衍射分析	(196)
7.4.2 红外光谱分析	(202)
7.4.3 拉曼光谱分析	(206)
7.5 小结	(210)
第八章 青铜器表面残留纺织品科学分析	(211)
8.1 引言	(211)
8.2 实验材料	(211)
8.3 纺织纤维	(213)
8.3.1 化学结构分析	(213)
8.3.2 微观形态结构分析	(220)
8.4 纺织结构	(226)
8.4.1 织物组织	(226)
8.4.2 纱线结构	(227)
8.5 小结	(231)
后记	(232)

第一章 绪 论

1.1 横水西周墓地概况

横水镇位于山西省运城市绛县西部，由横南、横东、横北三个村组成。西周墓地就坐落于横北村北（图 1.1），北距绛山仅 5 千米^①。墓地北依紫金山（又称绛山），南面涑水河，涑水河往南不远即中条山脉，墓地北高南低呈缓坡状，东西两侧有两条后世形成的深 20 ~ 50 米的南北向冲沟，并被一条小冲沟分为东西两部分^②。

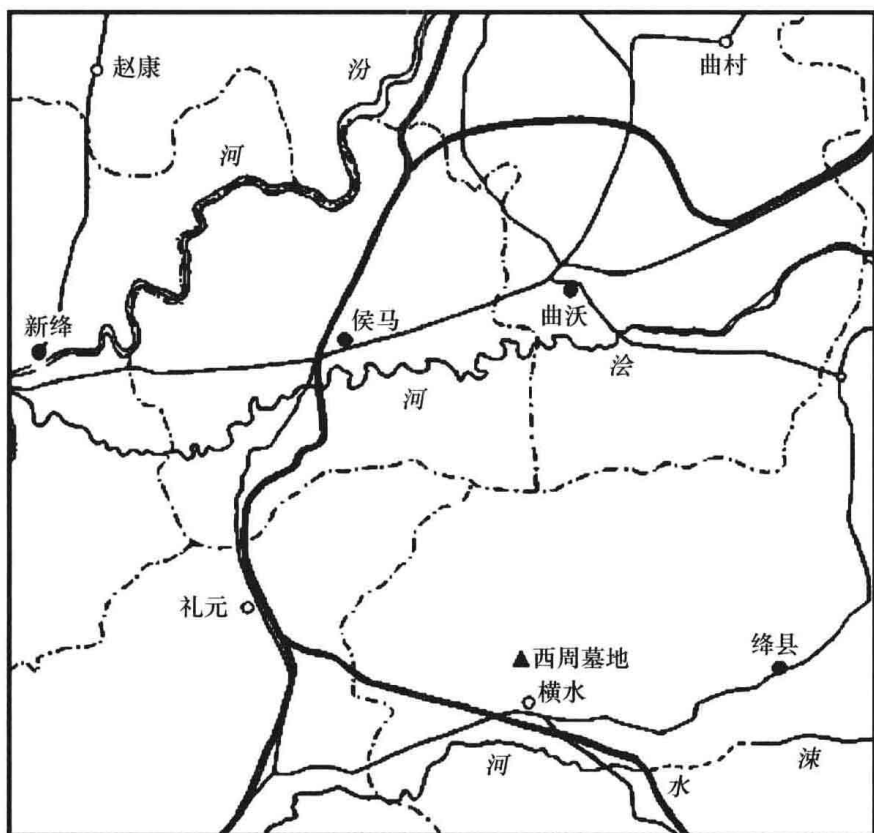


图 1.1 横水西周墓地位置示意图^③

2004 年 4 月，在横北村北坡一带出现了严重的古墓盗掘活动，不久即被绛县文化局发现并及时上报运城市文物局。同年 7 月，运城市文物局组织进行了考古钻探，并于 11 月对被盗墓葬进行发掘。至 12 月中旬，鉴于墓地的重要性，山西省文物局责成山西省考古研究所负责组建横水考古队，

① 山西省考古研究所，运城市文物工作站，绛县文化局．山西绛县横水西周墓发掘简报．文物，2006，（8）：4.

② 朱凤瀚．中国青铜器综述．上海：上海古籍出版社，2009：1490；国家文物局．2006 中国重要考古发现．北京：文物出版社，2007：55.

③ 山西省考古研究所，运城市文物工作站，绛县文化局．山西绛县横水西周墓发掘简报．文物，2006，（8）：4.

经国家文物局批准后,于12月19日开始对被盗掘的M3及未被盗掘的M1和M2进行考古发掘,2005年7月结束^①。

2005年3~5月,考古队对横水西周墓地进行了全面的考古勘探,发现整个墓地南北长约200、东西宽约150米,面积约3万平方米。根据墓葬分布的基本情况,2005年5月~2006年5月,对存在被盗隐患的重要区域进行了大面积的揭露,发掘面积8500平方米^②。

在发掘区域共发现西周时期墓葬190座(不含2004年发掘的M1~M3)、车马坑或马坑24座。墓葬和车马坑排列有序,自南向北墓葬时代从西周早期延续到春秋初年。190座墓葬中发现37座铜礼器墓葬,出土青铜礼乐器180余件,计有鼎、簋、甗、盘、盃、鬲、盆、觚、爵、觶、尊、壶、卣、方彝、钟等。陶器270余件,计有鬲、罐、豆、盆、簋、尊、壶、瓮、甗、杯等。原始瓷器19件,计有豆、壶、甗等。漆器29件,器形多不辨,能看出器形的有豆、壶等。小件器物中有玉石器、蚌贝器、串饰、骨器、铜车马器、铜饰件、铜兵器(戈、矛、镞)等2700余件(套)^③。

墓地早期和晚期墓葬的青铜器中均发现带有“匭伯”字样的铭文。从铜器铭文、墓葬规模和随葬品级别看,该墓地应是西周时期匭国国君、国君夫人及其国人的墓地^④。该墓地的发现,一定程度上揭示出了西周时期族群与文化的融合,使我们重新认识了西周中期以前晋国的疆域,更加全面地认识了晋文化和相关历史^⑤。此外,M1椁室内还发现了迄今为止我国时代最早、保存最好、面积最大的“荒帷”,为研究史书中的棺饰物提供了难得的实物资料^⑥。

因诸多重大发现及其重要的学术意义,横水西周墓地荣获2005年全国十大考古新发现。

1.2 科技考古研究现状

目前,对横水西周墓地出土文物所做的科技考古研究较少,发表的研究成果仅有数篇。现将其汇总简述如下:

2008年,南普恒、秦颖等对绛县横水西周墓地出土部分青铜器的残留泥芯进行了化学成分、物相结构组成等检测分析,通过比较发现残留泥芯的矿物组成和化学成分与绛县、侯马生土以及侯马陶范较为一致,认为出土青铜器应该是在绛县或者侯马附近加工制造而成^⑦。

2008年,杨益民、郭怡等利用快速溶剂萃取法和高效液相色谱技术对横水西周墓地出土铜盃和铜觶内底的残留物进行了快速萃取,经液相色谱定性分析,确认其中含有一定量的酒石酸。据此推

① 山西省考古研究所,运城市文物工作站,绛县文化局.山西绛县横水西周墓地.考古,2006,(7):16;国家文物局.2005中国重要考古发现.北京:文物出版社,2006:70;山西省考古研究所,运城市文物工作站,绛县文化局.山西绛县横水西周墓发掘简报.文物,2006,(8):4.

② 国家文物局.2005中国重要考古发现.北京:文物出版社,2006:72;山西省考古研究所,运城市文物工作站,绛县文化局.山西绛县横水西周墓地.考古,2006,(7):18.

③ 国家文物局.2006中国重要考古发现.北京:文物出版社,2006:56-59.

④ 国家文物局.2006中国重要考古发现.北京:文物出版社,2007:59.

⑤ 田建文,宋建忠,吉琨璋.横水墓地的发现与晋文化研究.中国文物报,2005-12-16;朱凤瀚.中国青铜器综述.上海:上海古籍出版社,2009:1494.

⑥ 吉琨璋,宋建忠,田建文,等.山西横水西周墓地研究三题.文物,2006,(8):45-49.

⑦ 南普恒,秦颖,谢尧亨,等.横水西周墓地部分青铜器残留泥芯的矿物组成和成分分析.岩矿测试,2008,(4):259-262.

测, 这些青铜酒器在下葬时应盛有酒, 并认为该方法可以推广到陶器残留物的分析之中^①。同年, 杨益民、郭怡等还对该墓地出土的一枚穿孔绿松石珠进行了微痕分析, 认为这枚绿松石珠的表面打磨工具是一种机械转动磨盘, 珠孔采用对钻贯通技术, 可能为空心管配合解玉砂高速旋转而成, 从加工工艺角度为古玉器的科学鉴定提供了依据^②。

2009 年, 马颖、杨益民等采用显微观察测量、扫描电镜 (SEM-EDS)、X 射线衍射 (XRD)、拉曼光谱以及淀粉粒刚果红染色法等方法和技术, 对横水西周墓地荒帷印痕和土样进行了系统的测试和分析, 认为荒帷是平纹组织, 染色方法为石染法, 其表面红色颜料为朱砂, 黄色颜料为黄赭石, 所用胶结物为淀粉类黏合剂^③。

2009 年, 秦颖、秦亚等对横水西周墓地人骨铅含量进行了分析, 发现骨铅含量与墓主身份等级成正比, 认为造成这种差异的原因可能是由于等级高的个体在含铅青铜器方面有更多的接触机会^④。

2010 年, 陈华锋等以带有横水西周墓地荒帷印迹的土壤为实验对象, 经溶解、离心、过滤、分离及凝胶电泳提取后, 使用生物质谱检测了提取蛋白的氨基酸序列。通过氨基酸序列比对, 共检索出 17 个与蚕丝蛋白质氨基酸序列相匹配的肽段, 说明荒帷印迹原来的纺织材料是蚕丝纤维, 并从纺织材料的角度认为匭伯应属诸侯一级^⑤。

1.3 研究的目 的 及 内 容

青铜器是商周时期社会地位和社会财富的重要象征, 集中体现了当时的科学技术水平、经济及文化生活诸多方面。其铸造过程更是涉及矿石开采和冶炼、范铸技术、经济贸易、交通运输、生产组织等多个方面。因此, 青铜器的科技研究一直都是科技考古学中一个非常重要的研究领域。借助于相关技术手段, 通过认真研究, 可以获取大量与之相关的潜在特征信息, 再结合传统类型学和地层学的研究成果, 便可以探讨其工艺技术、原料来源、铸造产地等问题, 从另外一个视角来探讨先民的技术、文化和生活。

本书以绛县横水西周墓地出土青铜器为主要研究对象, 选取了一批能够代表其技术特征的青铜器和标本, 利用自然科学中成熟的显微分析技术、元素分析技术及结构分析技术, 对青铜器中蕴含的技术信息进行了量化表达, 从青铜器的合金技术、金相组织、铸造工艺、矿料来源、铸造产地、锈蚀产物分析、残留纺织品分析七个方面进行分析和探讨, 并与山西其他地区出土的青铜器进行区域横向和时代纵向的比较研究, 以明确其技术特征和水平。与此同时, 结合相关文献对此时期的生产技术、经济等问题进行探讨, 为横水西周墓地出土青铜器及晋文化的深入研究提供重要的参考资料和科学依据。

① 杨益民, 郭怡, 马颖, 等. 出土青铜酒器残留物分析的尝试. 南方文物, 2008, (1): 108-110.

② 杨益民, 郭怡, 谢尧亭, 等. 西周匭国墓地绿松石珠微痕的数码显微分析. 文物保护与考古科学, 2008, (2): 46-51.

③ 马颖, 杨益民, 宋建忠, 等. 西周匭国墓地出土荒帷印痕的科技分析. 中原文物, 2009, (1): 102-105.

④ 秦颖, 秦亚, 谢尧亭, 等. 山西绛县横水西周墓地人骨铅含量分析. 文物, 2009, (7): 43-47.

⑤ 陈华锋. 古代丝绸腐蚀残留物鉴定分析技术的研究. 中国科学技术大学硕士学位论文, 2010: 27-37.

第二章 合金技术研究

2.1 引言

中国古代青铜器的合金多为铜、锡或铅二元或铜、锡、铅三元配制而成。不同配比的青铜合金具有不同的机械性能和铸造性能，适于制作不同种类及用途的青铜器物。所以，古代工匠在制作青铜器时，首先要考虑的就是青铜合金的配制问题，它是决定青铜合金性能最基本的因素。

研究表明，从开始有意识地配制青铜合金到熟练按照器物功能来配制不同比例的合金，有一个较长的发展过程^①。这个过程是从铜锡二元合金为主向铜锡铅三元合金为主的发展过程，也是从低合金向高合金发展的过程^②。

为探讨横水西周墓地出土青铜器的合金技术特点及发展情况，利用 X 射线荧光光谱法对部分青铜器进行了合金成分的分析研究，确定了其合金类型和合金元素特征，并将分析结果与部分经过系统分析的其他西周时期及山西商周时期墓地出土青铜器的合金成分数据进行了比较研究。

2.2 实验材料

出于数据可靠性的考虑，此次分析工作采用了取样分析的方法。为保护器物的完整性，不损伤器物的整体结构，采样部位均选择在器物的断裂处或隐蔽处，并尽可能注意避开纹饰和铭文，选择在铜器残片上进行取样。

自 56 件青铜器上共采集样品 59 个，涉及容器、兵器、工具、车马器四类，具体采样数量及器物名称详见表 2.1。

表 2.1 绛县横水西周墓地出土部分青铜器样品统计表

序号	类别	器物名称	器物数量	样品数量	
1	容器	鼎	11	12	38
		簋	9	9	
		甗	3	3	
		盘	3	3	
		其他容器	9	11	

① 朱凤瀚．中国青铜器综论．上海：上海古籍出版社，2009：688.
② 路迪民，王大业．中国古代冶金与金属文物．西安：陕西科学技术出版社，1998：65.

续表

序号	类别	器物名称	器物数量	样品数量	
2	兵器	戈	6	6	9
		刀	2	2	
		矛	1	1	
3	工具	凿	1	1	3
		工具柄	1	1	
		斧	1	1	
4	车马器	兽面饰件等	9	9	9

2.3 研究方法

2.3.1 测试仪器及实验参数

用砂纸将青铜残片表面锈蚀层打磨干净，直至露出金属基体，再用乙醇进行超声波振荡清洗 3 分钟，对露出的金属基体部位进行合金成分检测。

事实上，多数试样已严重腐蚀，露出的金属基体面积较小，为此，使用美国 EDAX International Inc. 的 EAGLE-III μ XXL 型聚焦能量色散型 X 射线荧光光谱仪对试样进行合金成分分析。此仪器具有微区成分分析功能，可将荧光光束聚焦到微区范围，可对小范围金属基体进行检测分析。

实验参数：管压 40kV，管流 100 μ A，真空光路，光斑直径为 100 μ m，MnK α 处的分辨率 137.5eV，死时间约 20%~26%，Res 134.5，时间 100s。

2.3.2 合金成分划分标准

为方便进行对比和讨论，采用冶金史界常用的划分标准对青铜合金进行划分。当合金中某一元素含量达到或者超过 2% 时，即认为其为合金元素，视为古代工匠有意加入，并将此类合金称之为某青铜。具体如下。

1. 类青铜或纯铜

成分主要是铜，其他元素均低于 2%。

2. 锡青铜

铜锡二元合金（Cu-Sn），合金元素主要是铜、锡，其元素含量均高于或等于 2%，而其他元素均低于 2%。

3. 铅青铜

铜铅二元合金（Cu-Pb），合金元素主要是铜、铅，其元素含量均高于或等于 2%，其他元素均

低于 2%。

4. 铅锡青铜

铜锡铅三元合金（Cu-Sn-Pb），合金元素主要是铜、锡、铅，其元素含量均高于或等于 2%。同时，对各类合金成分中锡、铅元素含量的高低采用以下标准：
将元素含量高于或等于 2%、低于 10% 视为低含量；将元素含量高于或等于 10%、低于 20% 视为中等含量；将高于或等于 20% 视为高含量。

2.4 实 验 结 果

2.4.1 青铜容器合金成分

1. 铜鼎

利用 ED-XRF（能量色散型 X 射线荧光光谱仪，下同）对采自 11 件铜鼎的 12 件样品进行合金成分分析，计圆鼎样品 9 件，方鼎样品 1 件，垫片样品 1 件，补铸处样品 1 件，分析结果详见表 2.2。

表 2.2 绛县横水西周墓地出土铜鼎 XRF 分析结果（wt%）

序 号	器物编号	器物名称	采样部位	分析元素					材质
				Cu	Sn	Pb	Fe	S	
01	JHM1013: 34	铜鼎	底部	80.88	16.79	0.40	1.12	0.80	锡青铜
02	JHM1153: 1	铜鼎	底部	87.03	10.22	0.74	0.50	1.50	锡青铜
03	JHM2021: 7	铜鼎	底部	76.69	17.08	3.17	1.85	1.21	铅锡青铜
04	JHM2022: 185	铜鼎	腹部	81.05	15.34	1.86	0.57	1.18	锡青铜
05	JHM2022: 203	铜方鼎	底部	75.55	22.40	0.83	0.60	0.61	锡青铜
06	JHM2047: 5	铜鼎	腹部	81.47	16.65	0.21	1.06	0.62	锡青铜
07	JHM2047: 5	铜鼎	腹部垫片	90.36	6.81	0.21	1.45	1.17	锡青铜
08	JHM2056: 35	铜鼎	底部	85.49	13.20	0.84	0.38	0.10	锡青铜
09	JHM3250: 22	铜鼎	补铸处	88.42	1.86	7.26	0.87	1.58	铅青铜
10	JHM3207: 6	铜鼎	足部	78.90	20.04	0.42	0.32	0.32	锡青铜
11	JHM3258: 7	铜鼎	足部	72.92	23.09	3.08	0.22	0.70	铅锡青铜
12	JHM3280: 1	铜鼎	底部	85.34	11.53	0.80	0.84	1.49	锡青铜

从铜鼎的合金成分分析结果（表 2.2）可以看出，铜鼎的合金元素主要为铜、锡和铅。部分器物中含有较高含量的铁（小于 1.9%）和硫（小于 1.6%），当为青铜合金中夹杂的硫化物所致。
根据合金元素数据（表 2.2）及其合金元素直方图（图 2.1），可将 12 件铜鼎的合金成分特点归纳如下：

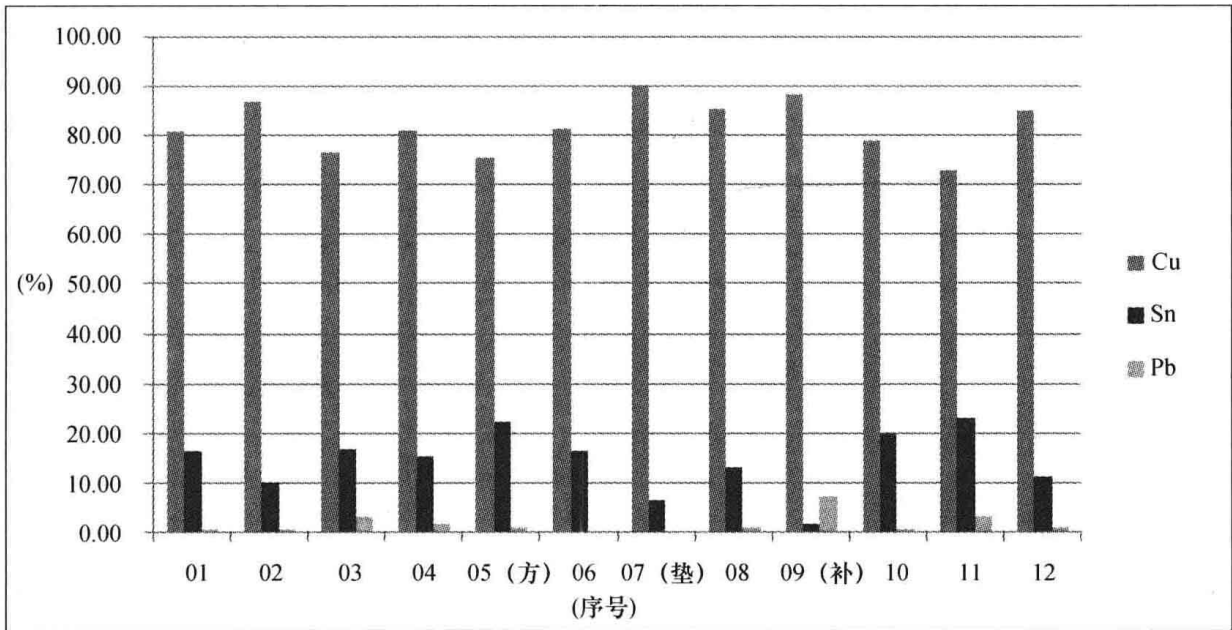


图 2.1 绛县横水西周墓地出土铜鼎合金元素含量直方图

(1) 锡青铜，9 件，占铜鼎总器物的 75%，含锡量范围为 6.81%~22.40%，平均 14.77%。其中，低锡含量 1 件，为铜鼎 JHM2047:5 腹部垫片标本；中等含量 6 件；高锡含量 1 件。

(2) 铅青铜，1 件，占铜鼎总器物的 8%，含铅 7.26%，为低铅铅青铜。

(3) 铅锡青铜，2 件，占铜鼎总器物的 17%，含锡量范围为 17.08%~23.09%，平均 20.09%，1 件为中等含量，1 件为高锡含量，其含铅量均在 3% 左右，为低含量。

可见，横水西周墓地出土铜鼎的合金特点是主要使用含锡 10%~20% 的铜锡二元合金，而较少使用铅青铜及三元的铅锡青铜（图 2.2）。因而，低铅、含锡中等的锡青铜是其主要合金特色。

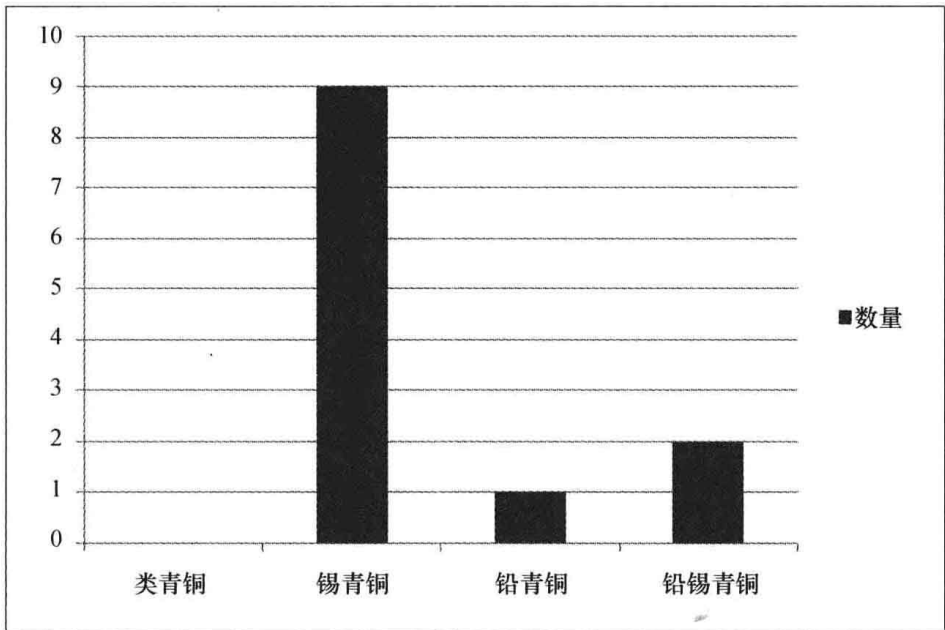


图 2.2 绛县横水西周墓地出土铜鼎合金成分分类统计直方图