



秦始皇帝陵园 出土彩绘青铜水禽 制作工艺及相关问题研究

Painted Bronze Waterfowls Unearthed from the Mausoleum
of the First Emperor of Qin: Their Manufacturing
Techniques and Related Issues

邵安定 著



科学出版社

国家社科基金

GUOJIA SHEKE JIJIN HOUQI ZITU XIANGMU

后期资助项目

秦始皇帝陵园出土彩绘青铜水禽 制作工艺及相关问题研究

Painted Bronze Waterfowls Unearthed from
the Mausoleum of the First Emperor of Qin:
Their Manufacturing Techniques and Related Issues

邵安定 著

科学出版社

北京

内 容 简 介

发现于秦始皇帝陵园的46件神态逼真、形态各异的原大彩绘青铜水禽，是目前国内考古出土时代最早、数量最多的一批青铜雕塑，在形制、表面装饰以及表现风格上特征鲜明，明显有别于中国先秦时期的其他青铜器。本书采用多种科技手段对彩绘青铜水禽的铸造工艺、合金工艺、矿料来源、装饰工艺以及体内泥芯进行了系统研究，并在中西方古代青铜器工艺的视野下，对彩绘青铜水禽在铸造工艺、合金工艺以及装饰工艺等方面的特征进行了深入讨论。本书为全面了解战国晚期秦国至秦代的物质文化、青铜冶铸工艺以及探索战国晚期秦国（秦代）与其他地区的文化交流与互动提供了科学证据。

本书资料丰富，图文并茂，可供考古专业师生、考古机构研究人员及对文博考古感兴趣的人群参考、阅读。

图书在版编目（CIP）数据

秦始皇帝陵园出土彩绘青铜水禽制作工艺及相关问题研究 / 邵安定著.
—北京：科学出版社，2019.1

国家社科基金后期资助项目

ISBN 978-7-03-060498-9

I. ①秦… II. ①邵… III. ①青铜器（考古）- 研究 - 中国 - 秦代
IV. ①K876.414

中国版本图书馆CIP数据核字（2019）第018551号

责任编辑：樊 鑫 闫广宇 / 责任校对：邹慧卿

责任印制：肖 兴 / 封面设计：金舵手世纪

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>

天津市新科印刷有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2019年1月第 一 版 开本：720×1000 1/16

2019年1月第一次印刷 印张：18 1/4 插页：12

字数：335 000

定价：158.00 元

（如有印装质量问题，我社负责调换）

国家社科基金后期资助项目 出版说明

后期资助项目是国家社科基金设立的一类重要项目，旨在鼓励广大社科研究者潜心治学，支持基础研究多出优秀成果。它是经过严格评审，从接近完成的科研成果中遴选立项的。为扩大后期资助项目的影响，更好地推动学术发展，促进成果转化，全国哲学社会科学工作办公室按照“统一设计、统一标识、统一版式、形成系列”的总体要求，组织出版国家社科基金后期资助项目成果。

全国哲学社会科学工作办公室

序

秦始皇帝陵园外城之外的青铜水禽坑，是1999年6月当地村民在建造现代墓葬的过程中偶然发现的。当年8月8日开始发掘，我作为秦陵考古队长参与了从勘探到发掘的全过程。这座陪葬坑内出土了46件锈蚀严重的彩绘青铜水禽和15尊毁损不堪的彩绘乐手俑。邵安定博士自2003年就与秦始皇兵马俑博物馆研究人员、德国同行们一起，对这批青铜水禽陆续开展了文物保护修复和科学研究工作。从2010年开始，他将彩绘青铜水禽制作工艺研究作为他博士论文的题目，为此开展了长达五年的系统研究。其间利用在英伦访学的机会，对中西古典时期的青铜制作工艺进行了深入的全面考察，最终得出了一系列令人信服的结论，填补了国内外在该领域的研究空白，也给我们在思考中外文化交流的诸多问题方面带来有益的和建设性的启迪。

文明因为交流而精彩，因为互鉴而进步。

从秦族到秦国再到秦帝国，秦人走过了从部族到古国、从王国再到帝国的中国文明演变模式的全过程。因之，秦文明在中国文明演变进程中具有独特的、不可或缺的价值。文献资料和考古证据显示，秦文明在形成过程中，一直存在着主体继承中原文化，在被动迁徙过程中，因为特殊的生存空间和环境压迫，使得秦人在一步步走向强盛的过程中，从来没有停止过与周边不同部族文化之间进行不间断的相互交流。可以说，对外开放和交流是秦文化从早到晚发展过程中的主旋律。在陇东、宝鸡地区的秦人早期遗存中，我们能看出其主体文化是中原文明，诸如竖穴土圹木椁墓、腰坑葬、青铜礼器、仿铜陶礼器、圭璧等全部是中原因素，但也可以间或看到来自其周边的西戎、北部的草原游牧、巴蜀等通过近距离交流而带来的异文化因素，这一现象与秦人发展相始终。可以说，没有交流和互鉴，秦文明能走到帝国阶段是不可想象的。

秦人在发展过程中，和近距离的文化体之间开展了程度不同的文化交流，于文献记载、于情于理我们都能理解。那么，秦人和远距离的文化体之间有没有可能也开展了不同程度的交流互动呢？换句话说，就是在张骞

凿空西域之前，中外文化之间有没有交流？有的话，曾经开展了怎样的文化交流呢？

秦帝国形成前后的中外文明交流是近年来的一个热点课题。围绕秦始皇帝陵园的兵马俑、铜车马、百戏俑、青铜水禽、条形砖、陵墓封土内的高台建筑等这些横空出世的考古发现，大家各抒己见。所讨论的焦点是此阶段有没有可能已经开始出现远距离的中外文化交流，秦陵发现的这些文化因素，是东方社会的独立发明，还是交流而来的？如果有交流的话能深入到什么程度，尤其是在制度和理念层面会不会也有所交流？这种讨论有时候甚至会偏离学术，而被莫名其妙地提到高不可攀的意识形态领域去。

邵安定博士经过深入的检测、分析和对比研究，认为彩绘青铜水禽为失蜡法整体铸造而成，且在青铜水禽上普遍发现的铜隔档、芯撑、芯骨、底部方孔、铜片镶嵌补缀工艺、流淌状多余铜、毛刷痕迹等现象，和公元前一千纪地中海沿岸的埃及、希腊青铜雕像上的同类痕迹接近甚至相同，而同类现象在中国先秦青铜器上几乎不见，表明此阶段秦文明中的青铜制作工艺受到地中海相关文明的影响。不仅如此，秦陵青铜水禽中含锡量以10%的铜锡二元合金铸造而成。这一现象普遍见于秦陵出土的青铜器，但却为中国所少见，同样的现象存在于希腊化之前的希腊青铜雕像中。

邵博士的研究结论，势必会让我们将其与自近代以来开展的中外文化交流研究，这项饶有趣味但又充满争议的话题联系起来。这不仅仅涉及文化交流研究的理论与方法问题，更经常地被人不适当地和民族文化自信联系起来。

人们普遍能接受这样的看法，即张骞通西域后，中外文化之间开展了持续不断的各种规模的交流，大量的异域文化因素源源不断地传入东土，东方的丝绸、铜镜、冶铁等传入西土，因为这些有文献支撑，也有考古资料可以佐证；但在此之前会是什么情况呢？我们会倾向于相信：张骞通西域之前中国文明所有的一切，都是我们老祖宗们独立发明创造的。

但是，十多年来的科技考古所取得的获得多数学者认可的丰硕成果表明：公元前1800年左右至公元前1000年之间，来自于西亚、北非的青铜冶炼技术、农作物中的小麦、大麦，家畜中的黄牛、山羊、绵羊、马，马车，早期冶铁技术等，在这一时期传入了中国。青铜技术的传入过程已经基本清晰，即距今4500年左右，率先在河西走廊发现用单范制作的小件红铜和砷铜铜器；距今4000年左右，冶铜技术传入中原；距今3600年左右，冶铜技术传到中原后被迅速地更新换代，出现了多块合范、三元合金的青铜制礼器。

在如此遥远的时代，东西文化之间已经有了这么多的文化交流。那么，春秋战国之际呢？期间中西文化之间是否终止了上述持续千年之久的交流呢？邵安定博士的研究成果，从一个侧面回答了这个问题。

当然，在没有更多的资料之前，关于中外文化交流的很多细节我们还一无所知。但我对未来充满自信，我相信，随着我们的视野不断开拓，随着考古学研究日新月异的进展，我们不仅能获得更多的中西文明交流的知识以及细节，也一定能形成中外文明交流的理论与方法体系的研究成果，考古学将证明，文明交流互鉴是推动人类文明进步和世界和平发展的动力。

段清波

2018年9月28日

目 录

序.....	(i)
引言.....	(1)
第一章 彩绘青铜水禽的考古发现与研究.....	(5)
第一节 秦国简史.....	(5)
第二节 秦始皇帝陵园简介.....	(7)
第三节 秦始皇帝陵园出土青铜器及考古学研究.....	(11)
第四节 彩绘青铜水禽的考古发掘及研究.....	(14)
第五节 小结.....	(19)
第二章 彩绘青铜水禽铸造工艺考察.....	(21)
第一节 铸造工艺考察方法及相关术语界定.....	(21)
一、铸造工艺考察的方法.....	(21)
二、相关术语的界定与说明.....	(22)
第二节 部分彩绘青铜水禽铸造工艺考察结果.....	(23)
一、彩绘青铜天鹅及天鹅残件.....	(23)
二、彩绘青铜鸿雁及鸿雁残件.....	(48)
三、彩绘青铜仙鹤.....	(62)
第三节 彩绘青铜水禽铸造工艺小结.....	(64)
第三章 彩绘青铜水禽铸造工艺研究.....	(66)
第一节 古代青铜器铸造工艺简介.....	(66)
一、陶范铸造工艺.....	(66)
二、直接失蜡铸造工艺.....	(68)
三、间接失蜡铸造工艺.....	(70)
第二节 中、西方公元前一千纪青铜器铸造工艺研究概况.....	(73)
一、西方古代青铜雕像铸造工艺研究.....	(73)
二、中国古代青铜器铸造工艺研究.....	(92)
三、秦始皇帝陵园出土相关青铜器铸造工艺的现有研究.....	(99)

四、小结	(101)
第三节 中、西方古代青铜工艺视野下的彩绘青铜水禽铸造工艺 ——兼论古代失蜡铸造工艺的技术特征	(103)
一、关于整体铸造	(104)
二、颈部铜隔档	(104)
三、关于头颈部泥芯的制作	(106)
四、芯撑的材质及设置工艺	(107)
五、芯骨的材质及作用	(109)
六、底部方孔的功能与作用	(111)
七、铜片镶嵌补缀工艺	(115)
八、流淌状多余铜和毛刷痕迹	(119)
九、立姿水禽掌部与踏板的连接	(120)
十、卧姿水禽底面掌部轮廓	(120)
十一、彩绘青铜水禽铸造工艺的判断及其特征	(121)
第四节 彩绘青铜水禽的铸造工艺及其所反映的 中、西方文化交流	(122)
一、彩绘青铜水禽铸造工艺蠡测	(122)
二、彩绘青铜水禽铸造工艺所反映的中、西方文化交流	(125)
第五节 小结	(129)
第四章 彩绘青铜水禽合金工艺及矿料来源研究	(130)
第一节 中、西方公元前一千纪青铜器合金工艺研究概况	(130)
一、西方青铜雕像的合金工艺	(130)
二、中国春秋战国时期青铜器的合金工艺	(134)
三、秦始皇帝陵园出土青铜器的合金工艺	(136)
四、小结	(141)
第二节 青铜器矿料来源研究简介	(141)
一、铅同位素示踪法	(141)
二、微量元素示踪法	(144)
第三节 彩绘青铜水禽基体科学分析	(145)
一、样品情况	(145)
二、金相分析	(146)
三、成分分析	(149)
四、铅同位素分析	(154)
五、微量元素分析	(157)

六、小结	(158)
第四节 秦始皇帝陵园随葬青铜器材质的特征及选择	(159)
一、彩绘青铜水禽的材质特征	(159)
二、秦始皇帝陵园随葬青铜器材质的独特性	(159)
三、关于秦始皇帝陵园随葬青铜器材质的选择	(160)
第五节 关于彩绘青铜水禽矿料来源的探索	(163)
一、彩绘青铜水禽与相关青铜器铅同位素比值的对比	(163)
二、彩绘青铜水禽与相关青铜器微量元素的对比	(165)
三、彩绘青铜水禽、早期秦文化铜器与不同铜矿 铅同位素比值的对比	(167)
四、关于废旧铜器的重熔的问题	(169)
第六节 小结	(170)
第五章 彩绘青铜水禽表面彩绘工艺研究	(172)
第一节 前人有关铜器表面彩绘工艺的研究	(172)
一、中、西方古代青铜器表面装饰工艺研究概况	(172)
二、秦始皇帝陵园出土相关文物彩绘工艺研究概况	(177)
第二节 彩绘青铜水禽表面彩绘颜料科学分析及绘制工艺考察	(179)
一、彩绘颜料科学分析	(179)
二、彩绘绘制工艺考察	(186)
第三节 相关问题讨论	(190)
一、关于彩绘颜料的初步认识	(190)
二、关于绘制工艺的初步认识	(192)
三、彩绘青铜水禽表面彩绘装饰的作用与功能	(193)
第四节 小结	(195)
第六章 彩绘青铜水禽泥芯的初步科学分析	(196)
第一节 前人已做的相关研究	(196)
一、古代铸铜外范和泥芯研究概况	(196)
二、秦始皇帝陵园封土及陶器土壤来源研究	(198)
第二节 彩绘青铜水禽泥芯科学分析	(199)
一、样品情况	(199)
二、成分分析	(200)
三、岩相及物相分析	(203)
四、微量元素分析	(210)
第三节 关于彩绘青铜水禽制作地点的探索	(216)

第四节 小结.....	(218)
第七章 结论.....	(219)
附录.....	(221)
附录一 秦始皇帝陵园 K0007 陪葬坑出土彩绘青铜水禽 基本信息登记表.....	(221)
附录二 早期秦文化青铜器及强国墓地青铜器 铅同位素比值数据.....	(229)
附录三 早期秦文化铜器以及李家铸铜作坊铜器 微量元素分析数据.....	(230)
附录四 秦岭部分现代铜矿、先秦古铜矿铅同位素数据.....	(234)
附录五 秦始皇帝陵园内及附近土壤样品微量元素分析数据.....	(237)
参考文献.....	(247)
后记.....	(261)

插图目录

图 1-1	秦始皇帝陵园地理位置图	(7)
图 1-2	秦始皇帝陵园俯瞰照片	(8)
图 1-3	秦始皇帝陵园内遗迹分布图	(9)
图 1-4	秦始皇帝陵园外遗迹分布图	(10)
图 1-5	K0007 陪葬坑位置图	(15)
图 1-6	K0007 陪葬坑结构平剖面图	(16)
图 1-7	彩绘青铜天鹅出土状况	(17)
图 1-8	彩绘青铜鸿雁出土状况	(17)
图 1-9	彩绘青铜仙鹤出土状况	(17)
图 1-10	K0007 陪葬坑出土的箕踞姿和跽姿陶俑	(18)
图 1-11	K0007 陪葬坑出土的部分小件文物	(18)
图 2-1	2 号彩绘青铜天鹅	(24)
图 2-2	2 号彩绘青铜天鹅颈内部泥芯	(24)
图 2-3	2 号彩绘青铜天鹅颈部 X 射线照片显示的铜隔档、芯骨 和芯撑孔	(24)
图 2-4	2 号彩绘青铜天鹅躯体部侧视 X 射线照片显示成排分布的 芯撑孔	(24)
图 2-5	2 号彩绘青铜天鹅踏板背面的圆形痕迹	(24)
图 2-6	2 号彩绘青铜天鹅腹部补片脱落的补缀痕迹	(25)
图 2-7	2 号彩绘青铜天鹅左翼表面因补片脱落而露出的泥芯撑	(25)
图 2-8	2 号彩绘青铜天鹅交叉双翼与尾部间的空腔	(25)
图 2-9	2 号彩绘青铜天鹅交叉双翼与尾部侧面	(25)
图 2-10	3 号彩绘青铜天鹅	(26)
图 2-11	3 号彩绘青铜天鹅头颈内泥芯及露出的芯骨	(26)
图 2-12	3 号彩绘青铜天鹅颈部 X 射线照片显示的铜芯骨	(26)
图 2-13	3 号彩绘青铜天鹅头部 X 射线照片显示的铜芯骨	(26)
图 2-14	3 号彩绘青铜天鹅底部右掌轮廓线条	(26)

图 2-15	3 号彩绘青铜天鹅底部左掌轮廓线条	(26)
图 2-16	6 号彩绘青铜天鹅	(27)
图 2-17	6 号彩绘青铜天鹅颈内泥芯	(27)
图 2-18	6 号彩绘青铜天鹅头部 X 射线照片显示的铜隔档	(27)
图 2-19	6 号彩绘青铜天鹅躯体部俯视 X 射线照片显示的 成排分布的芯撑孔	(27)
图 2-20	6 号彩绘青铜天鹅躯体侧视 X 射线照片显示的成排分布的 芯撑孔	(28)
图 2-21	6 号彩绘青铜天鹅颈部表面补片已脱落的芯撑孔	(28)
图 2-22	6 号彩绘青铜天鹅左腿及掌部	(28)
图 2-23	6 号彩绘青铜天鹅右掌与躯体之间的间隙	(28)
图 2-24	7 号彩绘青铜天鹅	(29)
图 2-25	7 号彩绘青铜天鹅头部 X 射线照片显示的芯骨及成排分布的 芯撑孔	(29)
图 2-26	7 号彩绘青铜天鹅头颈断口内泥芯及露出的铜芯骨	(29)
图 2-27	7 号彩绘青铜天鹅被铜隔档密封的颈部断口	(29)
图 2-28	8 号彩绘青铜天鹅	(30)
图 2-29	8 号彩绘青铜天鹅头部 X 射线照片显示内部泥芯的 偏移情况	(30)
图 2-30	8 号彩绘青铜天鹅颈部泥芯及其中间分界线	(31)
图 2-31	8 号彩绘青铜天鹅头颈部 X 射线照片显示的铜隔档 和铜芯骨	(31)
图 2-32	8 号彩绘青铜天鹅颈部泥芯中露出的铜芯骨	(31)
图 2-33	8 号彩绘青铜天鹅底部方孔和铸造缺陷的补缀痕迹	(31)
图 2-34	8 号彩绘青铜天鹅胸部俯视 X 射线照片显示底部方孔 及其四周的黑色线框	(31)
图 2-35	8 号彩绘青铜天鹅头颈连接处的铜隔档	(31)
图 2-36	8 号彩绘青铜天鹅颈部残块表面的补缀痕迹	(32)
图 2-37	8 号彩绘青铜天鹅颈部残块泥芯中的多余铜	(32)
图 2-38	8 号彩绘青铜天鹅掌部的铜樨头	(32)
图 2-39	8 号彩绘青铜天鹅踏板上的卯窝	(32)
图 2-40	10 号彩绘青铜天鹅	(33)
图 2-41	10 号彩绘青铜天鹅颈部青灰色泥芯及木芯骨的孔洞	(33)
图 2-42	10 号彩绘青铜天鹅颈部残块 X 射线照片未显示木芯骨的	

存在	(33)
图 2-43 10 号彩绘青铜天鹅颈部泥芯中已完全炭化的木芯骨	(33)
图 2-44 10 号彩绘青铜天鹅颈部铜隔档的 X 射线照片	(33)
图 2-45 10 号彩绘青铜天鹅颈部与躯体连接部位呈凹窝状泥芯	(33)
图 2-46 10 号彩绘青铜天鹅内壁残留的泥芯撑	(34)
图 2-47 10 号彩绘青铜天鹅躯体右侧芯撑分布示意图	(34)
图 2-48 10 号彩绘青铜天鹅躯体底面芯撑分布示意图	(34)
图 2-49 10 号彩绘青铜天鹅躯体内壁表面的毛刷痕迹	(34)
图 2-50 10 号彩绘青铜天鹅躯体内壁的流淌状多余铜	(35)
图 2-51 10 号彩绘青铜天鹅底部方孔及其四周的凹槽	(35)
图 2-52 10 号彩绘青铜天鹅底部方孔边沿的鑿凿痕迹	(35)
图 2-53 10 号彩绘青铜天鹅补片表面的打磨痕迹	(35)
图 2-54 10 号彩绘青铜天鹅左掌部	(35)
图 2-55 10 号彩绘青铜天鹅右掌部和躯体之间的间隙	(35)
图 2-56 10 号彩绘青铜天鹅两翼交叉处断茬	(36)
图 2-57 11 号彩绘青铜天鹅颈部断面及内部泥芯	(36)
图 2-58 11 号彩绘青铜天鹅颈部与躯体连接处的铜隔档	(36)
图 2-59 11 号彩绘青铜天鹅躯体部经铜片镶嵌补缀的方孔	(36)
图 2-60 11 号彩绘青铜天鹅经铜片镶嵌补缀的芯撑孔	(36)
图 2-61 11 号彩绘青铜天鹅腿部与躯体连接处剖面	(37)
图 2-62 11 号彩绘青铜天鹅腿部泥芯及泥芯撑	(37)
图 2-63 13 号彩绘青铜天鹅躯体	(38)
图 2-64 13 号彩绘青铜天鹅颈部泥芯中间分界线	(38)
图 2-65 13 号彩绘青铜天鹅颈部残块内泥芯撑	(38)
图 2-66 13 号彩绘青铜天鹅躯体部伸入铜胎的泥芯撑	(38)
图 2-67 13 号彩绘青铜天鹅躯体残块内壁残留的泥芯撑	(38)
图 2-68 13 号彩绘青铜天鹅颈部与躯体部连接部铜隔档的 X 射线照片	(38)
图 2-69 13 号彩绘青铜天鹅颈部与躯体处连接部铜隔档的 工业 CT 扫描照片	(39)
图 2-70 13 号彩绘青铜天鹅躯体部俯视 X 射线照片	(39)
图 2-71 13 号彩绘青铜天鹅尾部底面方孔内侧情况	(39)
图 2-72 13 号彩绘青铜天鹅掌部与躯体之间的间隙	(39)
图 2-73 56 号彩绘青铜天鹅头颈残件	(39)

图 2-74	56 号彩绘青铜天鹅头颈部残件 X 射线照片显示的铜隔档及芯撑孔	(39)
图 2-75	58 号彩绘青铜天鹅头部残件	(40)
图 2-76	58 号彩绘青铜天鹅头部残件 X 射线照片显示的芯撑孔	(40)
图 2-77	60 号彩绘青铜天鹅头颈部残件	(40)
图 2-78	60 号彩绘青铜天鹅头颈部残件的 X 射线照片显示的铜隔档及芯撑孔	(41)
图 2-79	60 号彩绘青铜天鹅头部残件表面的方形补片痕迹	(41)
图 2-80	62 号彩绘青铜天鹅头部残件	(41)
图 2-81	62 号彩绘青铜天鹅头部残件 X 射线照片显示头内的多余铜	(41)
图 2-82	62 号彩绘青铜天鹅头部残件内保留的铜芯撑	(41)
图 2-83	20 号彩绘青铜天鹅头部残件	(42)
图 2-84	20 号彩绘青铜天鹅头部残件颈部断口泥芯的中间分界线 ...	(42)
图 2-85	20 号彩绘青铜天鹅头部残件喙部断口泥芯的中间分界线 ...	(42)
图 2-86	彩绘青铜天鹅颈部残件 A	(43)
图 2-87	彩绘青铜天鹅颈部残件 A 上的泥芯撑	(43)
图 2-88	彩绘青铜天鹅颈部残件 A 铜胎内壁上残留的芯撑孔	(43)
图 2-89	彩绘青铜天鹅颈部残件 A 上的铜隔档	(43)
图 2-90	彩绘青铜天鹅颈部残件 A X 射线照片显示的铜隔档	(43)
图 2-91	彩绘青铜天鹅颈部残件 A 铜隔档样品 (TGD1) 的剖面显微照片	(43)
图 2-92	彩绘青铜天鹅颈部残件 B	(44)
图 2-93	彩绘青铜天鹅颈部残件 B 的 X 射线照片	(44)
图 2-94	彩绘青铜天鹅颈部残件 B 断裂处泥芯及铜隔档中间的不规则孔洞	(45)
图 2-95	彩绘青铜天鹅颈部残件 B 铜隔档样品 (TGD2) 的剖面显微照片	(45)
图 2-96	彩绘青铜天鹅颈部残件 B 铜隔档样品的金相照片	(45)
图 2-97	彩绘青铜天鹅颈部残件 B 铜隔档样品颈部胎壁金相照片	(46)
图 2-98	彩绘青铜天鹅颈部残件 B 铜隔档样品铜隔档区金相照片	(46)
图 2-99	法国叙利亚地区纳维出土罗马时期铜马熔化焊接部位的	

金相照片	(46)
图 2-100 彩绘青铜天鹅尾部残件	(47)
图 2-101 彩绘青铜天鹅尾部残件上的凹槽	(47)
图 2-102 彩绘青铜天鹅尾部残件凹槽上的鑿凿痕迹	(47)
图 2-103 30 号彩绘青铜鸿雁躯体部	(48)
图 2-104 30 号彩绘青铜鸿雁头颈部	(48)
图 2-105 30 号彩绘青铜鸿雁头颈部 X 射线照片显示头部中央的 铜隔档	(48)
图 2-106 30 号彩绘青铜鸿雁躯体部 X 射线照片显示颈部铜隔档 及体内流淌状多余铜	(48)
图 2-107 30 号彩绘青铜鸿雁左掌部	(49)
图 2-108 30 号彩绘青铜鸿雁底部右掌轮廓线条	(49)
图 2-109 30 号彩绘青铜鸿雁交叉双翼与尾部之间的空腔	(49)
图 2-110 30 号彩绘青铜鸿雁表面打磨痕迹	(49)
图 2-111 33 号彩绘青铜鸿雁	(50)
图 2-112 33 号彩绘青铜鸿雁躯体内尾部残留泥芯及尾部方孔 内侧	(50)
图 2-113 33 号彩绘青铜鸿雁颈部与躯体连接处凹窝状泥芯	(50)
图 2-114 33 号彩绘青铜鸿雁躯体断口处凹陷	(50)
图 2-115 33 号彩绘青铜鸿雁躯体内顶部芯撑分布情况示意图	(51)
图 2-116 33 号彩绘青铜鸿雁躯体左侧面芯撑分布情况示意图	(51)
图 2-117 33 号彩绘青铜鸿雁躯体右侧面芯撑分布情况示意图	(51)
图 2-118 33 号彩绘青铜鸿雁躯体底部芯撑分布情况示意图	(51)
图 2-119 33 号彩绘青铜鸿雁双翼与尾部之间的空腔	(51)
图 2-120 33 号彩绘青铜鸿雁掌部与躯体之间的间隙	(51)
图 2-121 35 号彩绘青铜鸿雁	(52)
图 2-122 35 号彩绘青铜鸿雁头颈部 X 射线照片显示的铜隔档	(52)
图 2-123 35 号彩绘青铜鸿雁躯体侧视 X 射线照片显示成排分布的 芯撑孔	(52)
图 2-124 35 号彩绘青铜鸿雁躯体俯视 X 射线照片显示的 底部方孔	(52)
图 2-125 35 号彩绘青铜鸿雁纵向工业 CT 扫描照片	(53)
图 2-126 35 号彩绘青铜鸿雁水平向工业 CT 扫描照片	(53)
图 2-127 35 号彩绘青铜鸿雁双翼与尾部之间的空腔	(53)

图 2-128	35 号彩绘青铜鸿雁掌部与躯体之间的间隙	(53)
图 2-129	36 号彩绘青铜鸿雁	(54)
图 2-130	36 号彩绘青铜鸿雁头颈部 X 射线照片显示的芯骨 及铜隔档	(54)
图 2-131	36 号彩绘青铜鸿雁底部 X 射线照片显示的底部方孔 及其四周黑色线框	(54)
图 2-132	36 号彩绘青铜鸿雁底面篆刻的铭文	(54)
图 2-133	36 号彩绘青铜鸿雁双翼与尾部之间的空腔	(55)
图 2-134	36 号彩绘青铜鸿雁掌部与躯体之间的间隙	(55)
图 2-135	42 号彩绘青铜鸿雁颈部的两处补缀凹槽	(55)
图 2-136	42 号彩绘青铜鸿雁头部表面的打磨痕迹	(55)
图 2-137	42 号彩绘青铜鸿雁躯体侧视 X 射线照片显示成排分布的 芯撑孔	(56)
图 2-138	42 号彩绘青铜鸿雁躯体部俯视 X 射线照片显示的芯撑孔 及底部方孔	(56)
图 2-139	42 号彩绘青铜鸿雁掌部与躯体之间的间隙	(56)
图 2-140	42 号彩绘青铜鸿雁双翼与尾部之间的空腔	(56)
图 2-141	43 号彩绘青铜鸿雁	(57)
图 2-142	43 号彩绘青铜鸿雁侧视 X 射线照片显示的芯撑孔 及铜隔档	(57)
图 2-143	43 号彩绘青铜鸿雁俯视 X 射线照片显示的底部方孔	(57)
图 2-144	43 号彩绘青铜鸿雁底部右掌轮廓线条	(57)
图 2-145	43 号彩绘青铜鸿雁底部左掌轮廓线条	(57)
图 2-146	44 号彩绘青铜鸿雁	(58)
图 2-147	44 号彩绘青铜鸿雁侧视 X 射线照片显示的芯撑孔 及铜隔档	(58)
图 2-148	44 号彩绘青铜鸿雁俯视 X 射线照片显示的底部方孔 和芯撑孔	(58)
图 2-149	44 号彩绘青铜鸿雁左掌部	(58)
图 2-150	44 号彩绘青铜鸿雁底部左掌轮廓线条	(59)
图 2-151	44 号彩绘青铜鸿雁底部右掌轮廓线条	(59)
图 2-152	44 号彩绘青铜鸿雁双翼与尾部之间的空腔	(59)
图 2-153	44 号彩绘青铜鸿雁底部篆刻的铭文	(59)
图 2-154	46 号彩绘青铜鸿雁	(60)