

上海博物館

文物保护科学论文集

主编 马承源

Editor-in-Chief: Ma Chenyuan

A COLLECTION OF THE SHANGHAI MUSEUM THESIS
ON SCIENCE OF CONSERVATION



上海科学技术文献出版社

Shanghai Scientific Technological Literature Publishing House

上海博物馆文物保护科学论文集

A COLLECTION OF THE SHANGHAI
MUSEUM THESIS ON SCIENCE OF CONSERVATION

主 编 马承源
副主编 黄宣佩 王维达 谭德睿
执行编辑 张 岚

Editor-in-Chief: Ma Chenyuan

Deputy Editor-in-Chief: Huang Xuanpei Wang Weida Tan Derui

Executive Editor: Zhang Lan

上海科学技术文献出版社

责任编辑：杨燕南

封面设计：何永平

上海博物馆文物科技论文集

主 编 马承源

副主编 黄宣佩 王维达 谭德睿

执行编辑 张 岚

*

上海科学技术文献出版社出版发行

(上海市武康路2号 邮政编码 200031)

全 国 新 华 书 店 经 销

上海科技文献出版社昆山联营厂印刷

*

开本 787×1092 1/16 印张 36 字数 870 000

1996年9月第1版 1996年9月第1次印刷

印 数：1—1250

ISBN 7-5439-0938-3/Q·24

定 价：120.00 元

前 言

这本论文集收集了上海博物馆历年来在国内外刊物上发表过的以及部分未发表的有关文物科技的论文共 48 篇。其内容涉及文物保护、考古断代和文物科技研究等各个领域。部分论文经过重新整理编写。

高度重视文物科技工作,是上海博物馆的传统。即使在“文革”时期,不少科研人员仍然在十分困难的条件下,坚持从事文物科技研究。经过 30 余年的不断发展,上海博物馆已在书画防虫防霉、金属防腐蚀、陈列橱湿度控制、漆木器保护、大气污染检测、热释光断代、古代青铜技术和文物检测鉴定等研究领域取得了相当可观的成果。“文革”后完成的成果,仅获文化部、国家文物局或上海市奖励的项目就有 17 项,在国内外刊物上发表论文 70 多篇。

上述研究成果,有的是传统技术的继承和发展,有的是用现代科技手段保护研究文物和进行考古工作。不少项目是本馆和国内外高校、研究所运用现代检测手段共同完成的,这是近 20 年来我国文物考古工作者在研究方向和研究手段上出现的重要发展,它有着强大的生命力和广阔的发展前景,也是我国文物和考古工作跻身于世界先进水平的一个必要条件。

作为一个文物大国,加强文物保护和考古科学研究的任务之艰巨,自不待言。我们面临的情况是,文物科技研究的平均水平与实际要求还有颇大差距;研究成果的推广与应用还比较困难。能否有效地加强这方面的工作,是如何对待我们丰富灿烂的文化遗产的原则问题。我们深知,要有效地加强这个工作,除了在人员、经费、体制等方面给予力所能及的支持外,加强信息交流是不可少的。为此,除继续办好由本馆主办的《文物保护与考古科学》杂志之外,决定把本馆历年来在文物科技方面的研究成果汇集成册,以加强科研成果的交流。

上海博物馆的文物科技工作,一直得到各兄弟博物馆和文物考古研究所的支持,得到复旦大学、华东理工大学、上海材料研究所等单位的协助,同时还得到文化部、国家文物局、国家科委和上海市科委的鼓励和支持,值此论文集出版的机会,谨向帮助和支持我们工作的单位和个人表示诚挚的敬意和感谢。并望海内外同仁对我们的研究给予指正。

马 承 源

1996 年元月

目 录

青铜器研究

- 商周青铜双音钟 马承源(1)
- 新莽无射律管对黄钟十二律研究的启示 马承源、潘建明(21)
- 古代铜兵铜镜的成分及有关铸造技术 陈佩芬(31)
- 商鞅方升容积实测 马承源(39)
- 中国古代失蜡铸造刍议 谭德睿(42)
- 商周青铜器陶范材料研究 谭德睿、黄 龙(47)
- “六齐”、商周青铜器化学成分及其演变的研究 吴来明(71)
- 中国传统失蜡铸造技术 谭德睿(81)
- 东汉“水银沁”铜镜表面处理技术研究 谭德睿、吴来明、舒文芬等(96)
- 中国古代范型技术概论 黄 龙(109)
- 中国古代铸造技术概述 廉海萍(119)
- “透光”镜研究综论 廉海萍(148)
- 中国古代金属着色技术概论 吴来明(161)

热释光断代研究

- 热释光断代研究:全剂量 TLD 法 王维达(169)
- 热释光测定年代的误差分析 王维达(184)
- “非剂量”热释光断代 王维达、周智新(195)
- 一种鉴别特殊赝品的方法 王维达、周智新(201)
- 用厚源 α 计数法测定钍、铀年剂量 王维达、夏君定(209)
- α -值系统和有效 α 年剂量 王维达(222)
- 钍-铀比未知条件下的误差分析 王维达(227)
- 细粒和超薄型 TLD 测量 α 年剂量率比较 王维达、夏君定、周智新(233)
- 快速和简便的制备细粒样品方法 夏君定、王维达(239)
- 上海博物馆实验室热释光断代装置 夏君定(242)
- 用热释光断代技术测定事故和天然环境的辐射剂量 王维达(246)

文物保护环境研究

- 紫外光对文物的损害及其消除 陈元生(252)
- 大气污染与文物保护 陈元生(260)
- TEA 纸带法测定 SO_2 、 NO_2 的研究 陈元生、解玉林、金鑫荣、郑世红、蔡培光(270)
- 湿度调节研究综述 陈元生(282)
- BMC 湿度调节剂的研究 陈元生、解玉林、金鑫荣、陈德康(295)

纸张保护研究

- 粘连“板结”明成化说唱本的揭取、分离和复原 陈元生(314)

文物的虫害及其防治	陈元生、解玉林(319)
溴甲烷在物质中的残留	解玉林、陈元生(332)
溴甲烷的渗透性与废气治理研究	陈元生、解玉林(337)
溴甲烷的杀霉菌性能及其对物质影响研究	解玉林、陈元生(344)
中药防霉剂的抗霉菌活性研究及其应用	陈元生(353)
黄柏杀虫有效成分的研究	陈元生(362)
金属文物腐蚀控制	
处理青铜器有害锈的一种新方法	祝鸿范、周庚余、陈 萍(367)
银器处理的一种新方法	祝鸿范(373)
青铜器的腐蚀与防护	祝鸿范(380)
珐琅器的性质及其保护	祝鸿范(389)
无损检测	
用软 X 射线无损检测研究文物	祝鸿范、周庚余(395)
激光应用	
激光全息干涉度量术在文物检测中的试验研究	祝鸿范、周庚余(405)
全息术在文物中的应用	祝鸿范(413)
漆木及石质文物保护研究	
松江唐经幢修复工程方案	杨嘉祐(422)
“唐石灰石质经幢”的环氧树脂类材料胶接试验应用报告	上海博物馆文物修复复制工场(433)
宋代兴圣教寺塔木构件的表面封护加固	吴福宝、张民福、张 岚(446)
关于用冻干法脱水保护浸饱水文物的若干实验	吴福宝、张 岚(454)
关于宋代漆器圈叠胎制作工艺的研究	吴福宝、张 岚、陈 晶(460)
川杨河大型古木船室外冷冻脱水处理	吴福宝、张 岚(467)
浸饱水漆木器脱水保存的原理及方法	张 岚(475)
博物馆电脑化	
文物藏品管理检索系统	祝敬国(487)
一个图文并茂的管理信息系统	祝敬国、孙美琦(493)
藏品管理信息系统的两个技术问题	祝敬国(498)
文物出境管理信息系统设计	赵志伟(504)
上海博物馆资料管理信息系统研究	赵志伟(509)
面向最终用户的通用管理信息系统	谷文戎(515)
古文字信息处理	
甲骨文信息处理探讨	祝敬国(520)
手写甲骨文在线识别的模糊数学模型	祝敬国(526)
微电脑古汉字操作系统的设计	祝敬国(532)
商周青铜器铭文语料库系统	祝敬国(539)
博物馆标准化	

博物馆藏品分类标准化研究.....	祝敬国(544)
试论藏品管理计件规范.....	祝敬国(553)

Study on Bronze

- Two-Pitch Bronze Bells of the Shang-Zhou Period Ma Chengyuan(1)
- Notes on Tireless Pitch-pipes(*Wu yi lu guan*) in Study of Yellow Bell
..... Ma Chengyuan, Pan Jianming(21)
- Composition of Ancient Bronze Weapons and Mirrors as well as Relevant Casting
Techniques Chen Peifeng(31)
- Containment Examination of *Shang yang fang sheng* Ma Chengyuan(39)
- A Brief Study on Ancient Chinese Lost-wax Casting Technique Tan Derui(42)
- A Study on Treatment Techniques about Ancient Clay Mold Materials
..... Tan Derui, Huang Long(47)
- A Study on the *Liu Qi*, the Chemical Composition and Their Evolution of Bronzes in
the Shang and Zhou Dynasties Wu Laiming(71)
- Traditional Lost-wax Casting Technique in China Tan Derui(81)
- A Research on the Treatment Technique of the Eastern Han *Silvery-White* Bronze
Mirrors Surface Tan Derui, Wu Laiming(96)
- A Brief Study on Pattern and Mold Techniques in Ancient China
..... Huang Long(109)
- An Introduction to Casting Techniques in Ancient China Lian Haiping(119)
- Discussion and Summary about the Study on *Light-penetration* Bronze Mirror
..... Lian Haiping(148)
- An Introduction to Colouring Techniques of Metal in Ancient China
..... Wu Laiming(161)

Thermoluminescence

- A Study on Thermoluminescence Dating: All Measurements are Made by Using TLD
..... Wang Weida(169)
- Error Analysis and Calculation in the Thermoluminescence Dating
..... Wang Weida(184)
- "Undosed" Thermoluminescence Dating Wang Weida, Zhou Zhixin(195)
- A Method of Imitation Discretion Wang Weida, Zhou Zhixin(201)
- The Measurement of Annual Dose from Th Series and U Series Decay Chains by
Thick Source Alpha Counting Wang Weida, Xia Junding(209)
- The α -value System and the Effective Annual Alpha Dose Wang Weida(222)
- Error Analysis in Case Unknown Th-U Concentration Ratio Wang Weida(227)
- Comparison between Fine-grain and Ultrathin TLD in the Measurement of Alpha
Dose-rate Wang Weida, Xia Junding, Zhou Zhixin(233)
- A Convenient Method for Preparation of Fine-grain Samples
..... Xia Junding, Wang Weida(239)
- A Laboratory Apparatus for Thermoluminescence Dating Xia Junding(242)
- Accidental and Natural Environmental Dosimetry Using the TL Dating Technique

..... Wang Weida(246)

Museum Environment

The Damaging of Cultural Relics Caused by Ultraviolet Light and Its Control

..... Chen Yuansheng(252)

Air Pollution and Conservation Chen Yuansheng(260)

Study on the TEA Paper Method for Measuring SO₂ and NO₂

..... Chen Yuansheng, Xie Yulin, Jin Xingrong, Zhong Shihong(270)

Review the Study of Humidity Control Chen Yuansheng(282)

Studies on the Humidity Controlling Agent

..... Chen Yuansheng, Xie Yuling, Jin Xingrong, Chen Dekang(295)

Paper Conservation

Separation and Restoration of a Consolidated Ancient Book-A Libretto of the Ming Dynasty Chen Yuansheng(314)

Pest Control In Museums Chen Yuansheng, Xie Yulin(319)

The Residual of Methyl Bromide on the Fumigated Materials

..... Xie Yulin, Chen Yuansheng(332)

The Permeability of Methyl Bromide and the Waste Gas Pollution Control

..... Chen Yuansheng, Xie Yulin(337)

Study on the Fungicidal Effectiveness of Methyl Bromide and Influence Test on

Materials Xie Yulin, Chen Yuansheng(344)

Study of the Activity Anti-fungal Agents Extracted from Chinese Medicine and Its

Application Chen Yuansheng, Xie Yulin(353)

Study on the Insecticidal Properties of Pellodendron Chinese Schnied

..... Chen Yuansheng(362)

Corrosion Control of Metallic Relics

A New Method of Treatment to Harmful Rust of Bronze

..... Zhu Hongfan, Zhou Gengyu, Chen Ping(367)

A new Treatment of Silverware Zhu Hongfan(373)

Corrosion and Protection of Bronze Zhu Hongfan(380)

Conservation and Properties of the Enamelled Ware Zhu Hongfan(389)

Nondestructive Testing

Nondestructive Testing of Antiques by Soft X-ray

..... Zhu Hongfan, Zhou Gengyu(395)

Laser Application

Application of Laser Holographic Interferometry in the Inspections of Antiques

..... Zhu Hongfan, Zhou Gengyu(405)

The Application of Holography to Research Relics Zhu Hongfan(413)

Study on the Conservation of Stone, Waterlogged Wood and Lacquer Wares

The Preservation Project of "Tang Jin Zhuang" Yang Jiayou(422)

On the Restoration of Stone Pagoda with Epoxy Resin	
.....	The Workshop of Art Restoration(433)
Reinforce of the Wood Structure of "Xin Shen Jiao Si Ta"	
.....	Wu Fubao, Zhang Minfu, Zhang Lan(446)
Some Treatments about Waterlogged Relics Using Freeze-drying with Vacuum	
.....	Wu Fubao, Zhang Lan(454)
Research on a Special Skill for Making Lacquer-ware of Song Dynasty	
.....	Wu Fubao, Zhang Lan, Chen jing(460)
An Efficient Way to Preserve the Large Degraded Waterlogged Wood	
.....	Wu Fubao, Zhang Lan(467)
The Principles and Methods on Conservation of Waterlogged Wood and Lacquer Wares	Zhang Lan(475)

Computerization of Museum

A Computerized Retrieval System in Collection Management	Zhu Jingguo(487)
A Mis for the Shanghai Museum Collection with Graphic on Micro Computer	Zhu Jingguo, Sun Meiqi(493)
Two Technical Problems on the Management of Information System of Collections	Zhu Jingguo(498)
The Management Information System for Cultural Relics Exit ...	Zhao Zhiwei(504)
The Study of the Shanghai Museum Document Management Information System	Zhao Zhiwei(509)
A General Information Management System for Final User	Gu Wenrong(515)

Ancient Chinese Information Precessing

An Investigation of Information Processing of Inscriptions on Bones or Tortoise Shells	Zhu Jingguo(520)
A Fuzzy Model of Hand-printed Character Recognition on-line of Inscription on Bones or Tortoise Shells	Zhu Jingguo(526)
A Design of Ancient Chinese Disk Operating System on the Personal Computer	Zhu Jingguo(532)
The Corpus of the Inscriptions on Ancient Bronzes in Shang and Zhou Dynasty	Zhu Jingguo(539)

Standardization of Museum

A Research on the Standardization of Classification of Museum Collections	
.....	Zhu Jingguo(544)
Introduction to the Reekoning Directives of Collection Management	
.....	Zhu Jingguo(553)

商周青铜双音钟*

马 承 源

1978年5月,湖北省随县曾侯墓出土一套青铜编钟,悬挂在曲尺形三层钟架上,架的横梁即钟虞为木制,梁柱即钟筭系青铜铸造的佩剑武士。三层共计64枚钟。另有一罍,悬于下层居中,铸铭31字:“唯王五十又六祀,返自西觞,楚王畀章作曾侯乙宗彝、寔之于西觞,其永时用享。”楚王畀章即楚惠王熊章,则此五十六祀即楚惠王五十六年,为公元前433年。估计这64枚编钟的铸造年代与曾侯乙罍不应相去过远,大体上是春秋战国之际的铸品。每一层各组音色不相同,中间一层三组为实际演奏所用,各组的数目是11:12:10。下层大钟音低而洪亮,有人认为和声之用。这批钟在中国音乐史上是一次空前的大发现,在世界考古史上恐怕也是罕见的,需要作许多深入的研究。这批钟无论就形制和乐律(temperament)方面都是相当完整的,64枚编钟的隧部和鼓部都用铭文标出音名^[1]。这样,中国考古学家在此不久前发现的每一个钟可能具有两个频率(frequency)音的看法得到了令人兴奋的证实。每一个钟具有两个频率音,这是中国商周钟所固有的特点和优点,这在曾侯乙编钟的铸造中已经达到了最为辉煌的顶点。这种效应,自然与中国钟的形式和结构有关。但是否所有中国商周式钟都是双音钟,这是需要探讨的问题。这个问题,对两周编钟音阶和乐律的发展具有相当重要的关联。

一、商周钟构造的基本特点及其发展

所谓商周式钟,是指具有截面为叶形的口部中间凹下而成弯曲、顶部(舞)封闭的共鸣体,有甬或纽。商代的这种形式的钟形器是一种执钟,它是口部向上执在手中击奏的,这种执钟考古学家们称之为铙。考古发掘出土的铙,除殷墟五号墓是五个一组为特例以外,其余皆为三个一组。据殷墟铙的形式,毫无疑问,必然是两周钟的滥觞。由此我们可以知道,钟的原始形式在中国青铜时代一经出现,就是采取两侧尖锐的扁圆体形式,不仅铙是这种特殊的形状,就是河南偃师二里头文化中所出的早于商代二里岗期的单翼青铜铃,也是椭扁体的形状。两者共鸣箱的特点,颇具相似之处。可见,中国青铜钟的这种特有形式,很早就相对地固定下来了。

周初青铜乐器发现甚少,几乎没有正式的出土记录。从形式的发展来看,西周中期已通行编悬的甬钟,陕西长安普渡村出土的西周穆王时期长台庙编钟^[2]和宝鸡强伯墓出土的编钟^[3]都已是甬钟。

* 原文载于《考古学报》(1981)1,收入本集时略有修改。

至于西周晚期的甬钟,已经是众所周知的发展非常成熟的形态了。如陕西省博物馆所藏的扶风县齐家村出土的柞钟和仲义钟^[4],则都是有8枚成序列的编钟,与长台墓编钟3枚成序列相比较已大大地发展了。显然,两侧尖锐的长体而呈扁圆的共鸣体,是钟的特有形式。这种形式必然有相当的实用价值,才能稳定地沿用下来,它的形式上的局部改进,只是为了音响效果更加安善而已。至于西周晚期出现的有纽无枚截面略呈长方而有较大椭角和口平的钟,其特大者或称为罍,则是另一种用途的青铜乐器,不在本文中讨论。

春秋早期继承西周的制度,至晚期而有所变化,原来平口截面作椭圆形的纽钟改造为有两铑的平口钟,这种钟也是大小相次编悬的,其发音方法和甬钟相同,典型的如蔡侯墓出土的歌钟。蔡侯墓的全套编钟有平口的歌钟、曲于的行钟和曲于的甬钟构成。前两类是纽钟,后者是甬钟。随县曾侯乙墓中层和下层的姑洗律甬钟共有五组。中层两组钟枚的形式各不相同,有一组为无枚钟。30年来,全国各地出土了不少编钟,大大地丰富了两周钟的研究资料。今将出土的地点、数目及时代列于表1。

表 1

式 别 件 数 出 土 地 点		时 代	西周中晚期	春秋早期	春秋中晚期	战 国
陕 西	长安县普度村长台墓		I ₃			
	宝鸡市茹家庄强伯墓		I ₃			
	蓝田县红星公社		I ₁			
	扶风县强家村		I ₁			
	长安县马王村		I ₁₀			
	扶风县北桥生产队		I ₂			
	扶风县齐镇村东		I ₁			
	扶风县齐家村		I ₈ I ₈			
	扶风法门公社庄白一号窑藏		I ₂₁			
	临潼县零口公社			I ₁₃		
	宝鸡县太公庙村			I ₅		
河 南	三门峡市上村岭虢国墓地 1052 号墓			I ₁ I ₉		
	信阳长台关楚墓				I ₁₃	
山 西	侯马上马村 13 号墓				I ₉	
	长治市分水岭 270 号墓				I ₈ I ₉	
	长治市分水岭 269 号墓				I ₉ I ₉	
	长治市分水岭 14 号墓					I ₂ I ₈
	长治市分水岭 126 号墓					I ₁
	长治市分水岭 25 号墓					I ₅ I ₉
山 东	莒南县大店镇老龙腰一号墓				I ₉	
	莒南县大店镇老龙腰二号墓				I ₉	
	临沂费庄区花园公社				I ₉	
	临朐杨善公社					I ₅
	诸城臧家庄					I ₉
安 徽	寿县西门内蔡侯墓				I ₁₂ I ₉	
	寿县治淮工地战国墓					I ₃
	寿县城墙修复工地战国墓					I ₁₇
江 苏	六合县程桥公社一号墓				I ₉	
	六合县程桥公社二号墓				I ₇	
江 西	萍乡市彭家桥河中		I ₂			
	修水县上杉公社曾家山					I ₁
湖 北	随县擂鼓墩曾侯乙墓					I ₄₅ I ₁₉

(续表)

式别件数		时代	西周中晚期	春秋早期	春秋中晚期	战国
出土地点						
湖南	韶山灌区洙津渡狗头坝		I ₁			
	平江县瓮江红茶初制厂					I ₁
四川	涪陵小田溪一号墓					II ₁₄
	涪陵小田溪二号墓					I ₁
广东	肇庆市北岭松山				I ₆	
	清远县马头岗				I ₅	
	清远县马头岗				I ₇	
广西	恭城县加会公社				I ₂	

注：I 式为甬钟，II 式为纽钟，数字表示出土钟数，未写数字者，说明由于器物残破而件数不明。

二、商周钟的振动模式

钟体空心，上顶封闭，下口侈大，近于筒形体。实验证实，圆钟激振以后，是按正“十”字的交叉节线进行振动的，如图 1(a)所示。而如果从钟口观察，则是按两个垂直交叉的扁圆形交替地作来回摆动，如图 1(b)所示。当激振钟口 a 点时，aa' 两点同时向里挤压，其直角方位上的 bb' 两点则相应地向外延伸，整个钟口暂时失去了正圆形。接着，由于钟壁弹性的作用，aa' 和 bb' 的向里挤压和向外延伸交换了位置。这样钟壁往返不断的运动而产生了相应的频率，从而发出了声音。其中虚、实线的 4 个交叉点是静止的，形成 90° 角的振节。这是一般圆钟的振动模式。纯粹的圆钟激振钟口任何一点，其振动模式都固定不变，所以改变圆钟的敲击部位，它的基音(fundamental)只有一个。实际的圆钟其上下的大小厚薄不一致，这种结构的变化导致了产生各种复杂的泛音(harmonics)或分音(partial)，但其基频(the frequency of fundamental)，则仅有一个。

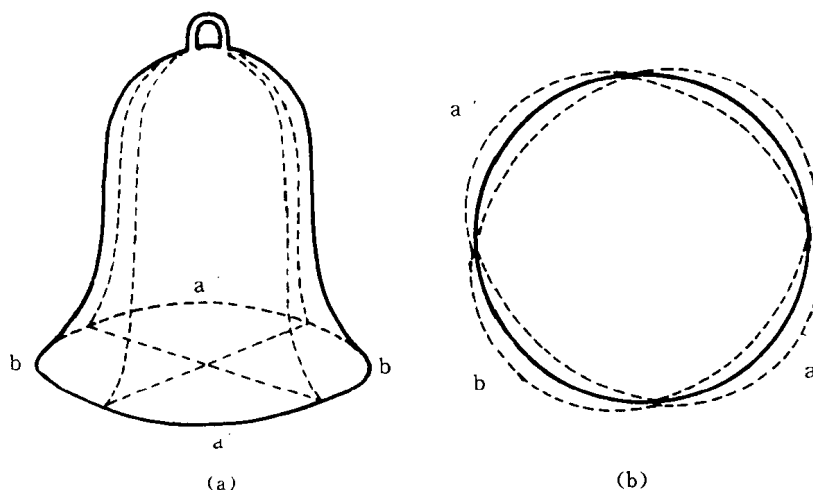


图 1 圆钟的振动模式

商周钟的形式是扁圆体，两铤的锐角形成了两条棱，钟口的截面成叶状而非圆形。这种特殊的结构造成了钟壁振动时的制约。实验测定，它有两种振动模式，鼓部中间的敲击点称为隧，隧音的振动模式见图 2(a)，aa'、bb'，均为振动之处。第二种振动模式激振点在两铤和隧之间的鼓部地位上，称为鼓音，鼓音的振动模式见图 2(b)，aa'、bb' 点均为振动之处。而图 2(a)的 aa'bb' 恰为图 2(b)的 aa'bb' 的振节，反之亦然。商周钟由于这种特殊的结构而造成的

各自的振动模式和频率,从而使一枚钟能够具有发出两个频率音的作用。

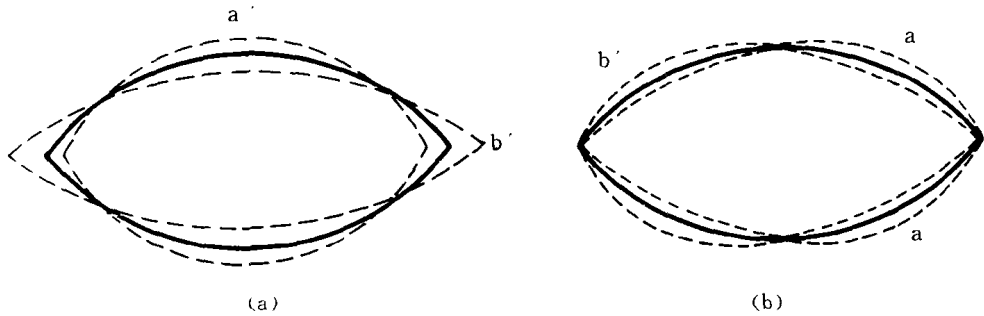


图 2 商周扁圆体钟的振动模式

1977 年我们在测量陕西出土的秦公编钟时,已经观察到一钟能够发出两个频率音。后来由于曾侯乙编钟的出土,钟上明确标有两个音名,才得到确认。作为检验的原则,我们对上海博物馆所藏的 107 枚商钟、西周钟、春秋战国钟(包括少数铃)以及宋代和清代仿造的商周式钟进行了频率实测,发现每一钟都具有能发双音的特点。以下,我们将属于商至战国的 84 枚钟,按其时代及隧音鼓音的音程(interval)关系,列于表 2。测量的方法是用 PB-2 型频率仪通过激振器向钟壁输送频率,然后再用微音器靠近钟的振动部位,将音频讯号送入示波器,与频率仪发出的标准讯号比较,观察示波器的李萨如图形,声音频率直接由频率仪读数显示出来。表 2 中的音程关系是按一般音乐上所通用的小二度(minor second)、大二度(major second)、小三度(minor third)、大三度(major third)、纯四度(perfect fourth)、增四度(augmented fourth)和小六度(minor sixth)等音程概念表示。其换算的方法是:先按隧音和鼓音的频率求出其音分(cent)* 差,再按一个半音关系(即一个小二度关系)等于 100 音分进行折算,不满 100 音分的则按四舍五入取百位。这样势将造成某些介于二个音程之间的关系,虽然人耳的听觉能够区别,而在表中却反映不出来,但这在统计上不能不这样做,这是须要加以说明的。

表 2

数量 时代	音程	小二度	大二度	小三度	大三度	纯四度	增四度	小六度
商		1	4		2			1
西周早中期(无旋钟)			3	2	2		1	
西周晚期		1	5	14	5	1		
春秋		2	1	11	5	3		
战国		4	4	8	4	3	1	

从表 2 中可以看到,商钟的隧音鼓音关系,以大二度居多。西周早中期的无旋钟,即过渡到西周有旋有枚的钟,虽然也以大二度居多,但与其他音程的比数差并不特别显著。至西周晚期有了明显的变化,小三度的音程关系占了大部分,春秋时期也占了半数。战国时期小三度与其他音程关系的比数则大为减低,虽然小三度还占有一定的比例。上海博物馆的藏品虽不足以完整地显示商周钟的音程面貌,但因其数量较多,仍有一定程度的代表意义,至少可以作为一个重要的参考。

* 音分是音程对数值的计量方法之一,为国际上所普遍采用。一音分(Cent,缩写作 C)是一个八度的一千二百分之一,平均律将八度平分十二个半音,每个半音等于 100C。

表2测定的结果,证实了:①商周式钟在隧部和鼓部都有一定的音程关系,即都能发出两个频率音。②隧音鼓音之间各类音程的比数随着时代的发展而复杂起来。③自西周晚期开始,音程的小三度关系很显著,大三度也有所增加,随着时代的发展,其他的音程关系也展开了。这里要指出的是,曾侯乙编钟的音程关系,小三度占47枚,大三度占16枚。小三度音程是其中的主要部分。

为了使商周钟的振动模式的了解不是停留在数字的概念上,须有直接的观察加以证实。我们请上海博物馆文物保护科学技术实验室对商周钟的振动模式作了激光全息摄影(Holographic for display),以便能够直观地反映不同频率振动区域的光干涉条纹影像,这是振幅(Oscillation amplitudo)和位相的记录。

全息照相的步骤是:用压电陶瓷晶片贴在古钟边缘的激振点上,通过音频发生器选择古钟的固有频率使其产生共振,在恒定振动状态时,对古钟作时间平均法全息摄影。我们对上海博物馆所藏的两个殷代钲钟和两个周代甬钟进行了全息摄影。下面发表的全息照片中钟上的黑白条纹(Fringe)是古钟特定频率的振动区域所形成的光干涉条纹。由于振动体在振动时所发生的往返的周期性变化,往往在其两个极端的位置停留的时间较其他位置停留的时间长得多,所以全息干片上记录的也是两个极端位置的物体光波的最强波前干涉(Wave front interfer)图像。这也就是古钟的振型图,也可以说是振动模式的光干涉图。

照片所显示重复的开口“ $\cap$ ”形或闭合“0”形干涉条纹环的中心为振动波腹的正中。因为钟体为扁圆形,而全息形成的干涉条纹是在正对记录介质的正轴方向最敏感,两侧向左右方向伸缩的变化引起光程改变很小,因此常常看不到干涉条纹,所以我们又拍摄了侧视的振型照片,以便能够得到振型图像的全面概念。干涉条纹的多寡是激振力的强弱所造成。由于钟的振动模式是正背一致的,所以这里只显示钟的一个正面或侧面的光干涉条纹。

古钟振动模式全息摄影的记录图如下:

(一) 商晚期 兽面纹钲(图3)



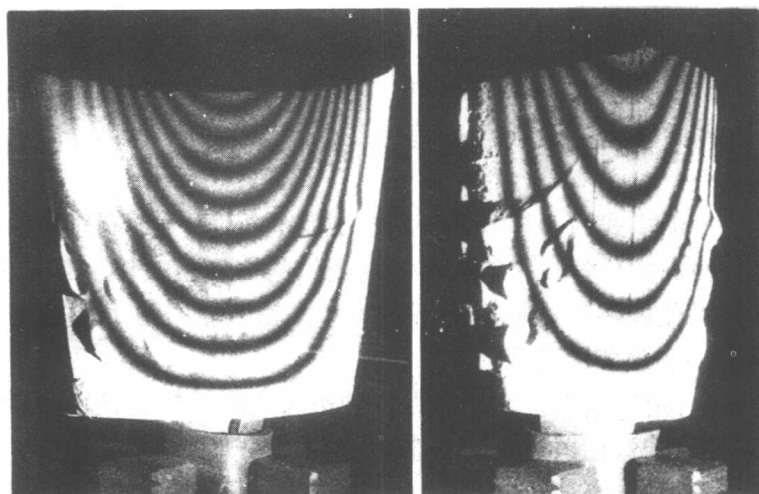
图3 兽面纹钲(商晚期)

隧音的频率为997Hz,振型为正视1个“U”形环,侧视1个“U”形环(图4);

鼓音的频率为1118Hz,振型为正视2个“U”形环,侧视2个“U”形环(图5);

高频分音A频率为2701Hz,振型为正视2个“U”形环(图6);

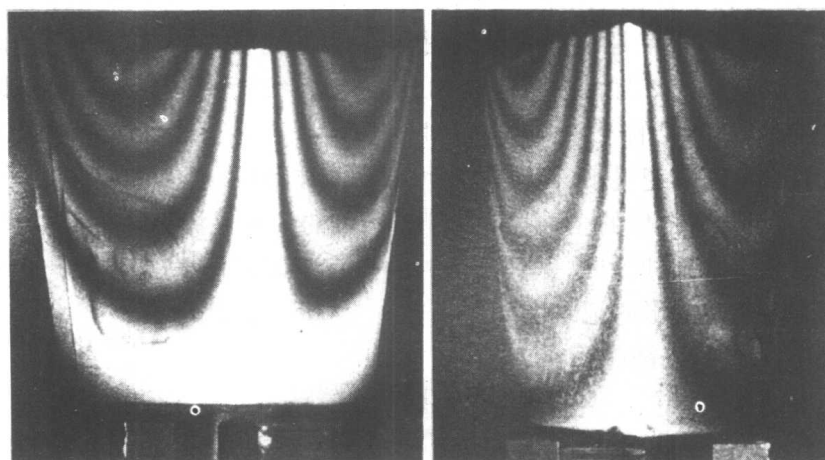
高频分音B频率为2950Hz,振型为正视3个“U”形环,侧视2个“U”形环2个“0”形环(图7);



(正视)

(侧视)

图 4 兽面纹铙隧音频率的振型



(正视)

(侧视)

图 5 鼓音频率的振音

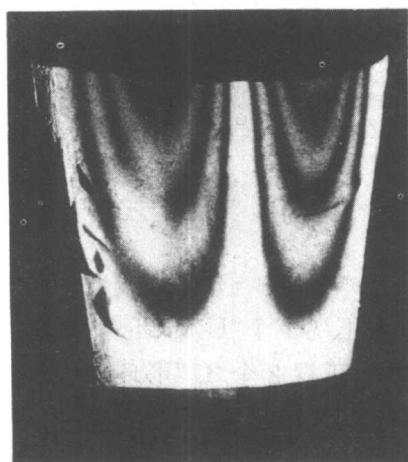


图 6 高频分音 A 频率的振型(正视图)

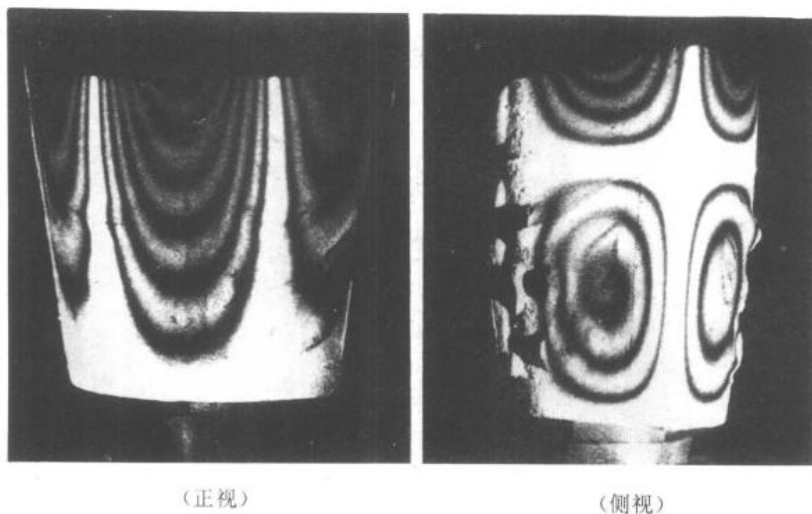


图 7 高频分音 B 频率的振型

高频分音 C 频率为 4580Hz, 振型为正视近钟口 3 个“U”形环, 其下 3 个“0”形环, 侧视近钟口 2 个“U”形环, 其下 2 个“0”形环(图 8)。

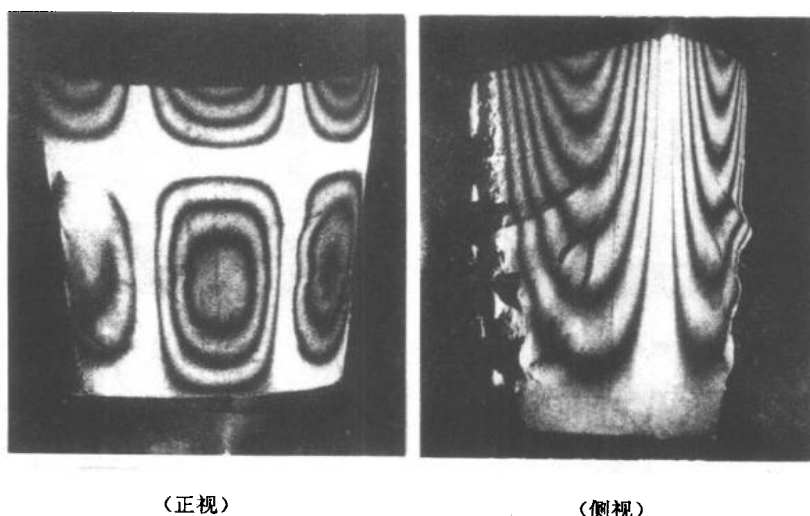


图 8 高频分音 C 频率的振音

(二) 商晚期 亚酖铙(图 9)

隧音的频率为 768Hz, 振型为正视 1 个“U”形环, 侧视 1 个“U”形环;

鼓音的频率音为 867Hz, 振型为正视 2 个“U”形环, 近舞部两角另各有 3 条条纹, 侧视 2 个“U”形环(图 10)。

高频分音 A 频率为 2083Hz, 振型为正视 2 个“U”形环;

高频分音 B 频率为 2183Hz, 振型为正视 3 个“U”形环(图 11);

高频分音 C 频率为 3279Hz, 振型为正视近钟口 3 个“U”形环, 其下 2 个“0”形环(图 12);

高频分音 D 频率为 4518Hz, 振型为侧视近钟口 3 个“U”形环, 其下 3 个“0”形环(图 13)。