

# 文物科技研究

第五辑

中国文化遗产研究院 编

科学出版社

北京

## 内 容 简 介

《文物科技研究》主要刊登国内外文物保护理论与方法研究、应用技术研究、保护工程技术研究的成果,以推动我国文物保护科学和应用技术研究的发展。本辑刊登的文章主要涉及金属文物、年代测定、石刻文物、建筑构件、纺织品的保护技术与研究探索,并翻译了一组国外关于壁画保护的学术文章。

本书可供从事文物保护与修复专业的科技人员、考古工作者、博物馆科技工作者和大专院校相关专业师生阅读、参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

---

文物科技研究. 第5辑 / 中国文化遗产研究院编. —北京: 科学出版社, 2007. 12

ISBN 978-7-03-020773-9

I. 文… II. 中… III. 文物保护 - 科学技术 - 中国 - 文集  
IV. K87-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 200461 号

---

责任编辑: 孙 莉 王光明 / 责任校对: 钟 洋

责任印制: 赵德静 / 封面设计: 陈 敬

**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>

**中国科学院印刷厂** 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

2007年12月第 一 版 开本: 787 × 1092 1/16

2007年12月第一次印刷 印张: 11

印数: 1—2 500 字数: 261 000

定价: 40.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换〈科印〉)

**SCIENTIFIC  
AND TECHNOLOGICAL RESEARCH  
ON CULTURAL HERITAGE**

VOLUME 5

CHINESE ACADEMY OF CULTURAL HERITAGE

SCIENCE PRESS  
BEIJING

# 目 录

云南古滇地区的金属制作技术与北方草原青铜文化 .....	韩汝玢 李晓岑 (1)
宁夏固原春秋战国时期两件青铜饰物表面镀锡层的 SEM-EDS 分析与研究 .....	孙淑云 (11)
四川盐源出土的一件镀锡九节鱼纹鸡首杖 .....	崔剑锋 吴小红 刘 弘 唐 亮 (18)
春秋战国时期镀锡青铜板带镀锡技术研究 .....	马清林 大卫·A. 斯科特 (24)
中国古代材料研究的现状与展望 .....	王昌燧 杨益民 胡耀武 (41)
科技史与科技考古研究中的“三重证据法”及其实践 .....	周卫荣 (50)
都兰吐蕃三号墓的精确年代——利用树轮年代学研究方法 .....	
.....	王树芝 邵雪梅 许新国 肖永民 (59)
中国古代的大型铸铁器 .....	[丹麦] 华道安著, 李 园译 (68)
铁器封护材料耐蚀性能研究 .....	徐 飞 万 俐 陈步荣 华 峰 (83)
山西侯马晋侯墓地 M9、M91 出土青铜残片分析研究 .....	杨小林 (91)
浙江温州西周土墩墓出土青铜器保护修复 .....	马菁毓 张治国 宋 燕 施诚哲 (102)
北京颐和园琉璃构件研究初探 .....	高大伟 刘 瑗 陈 曲 宋 燕 张治国 (111)
笔绘唐卡修复初探 .....	尚 力 刘恩迪 (119)
大足石刻千手观音造像彩绘颜料分析 .....	
.....	田兴玲 周 霄 高 峰 陈卉丽 席周宽 蒋思维 燕学锋 (126)
大英博物馆收藏的古埃及内巴蒙壁画 .....	[英] 埃瑞克·米勒著, 成 倩译 (134)
走出本土: Awatovi 和 Kawaika-a 地区古代霍皮人壁画的发掘和保护 .....	
.....	[美] 安吉里亚·巴斯·里韦拉, 莱斯利·瑞那, 丽迪亚·瓦兹著, 宋 燕译 (145)
佛殿: 修复还是保持原状? ——关于中国壁画和 17 世纪中式隔扇修复保护方法的 回顾 .....	[美] 凯思琳·M. 加兰, 乔·C. 罗杰斯著, 孙延忠译 (158)

# CONTENTS

- The metallurgies of ancient Dian area in Yunnan Province and the bronze-using cultures  
in the Northern Frontier ..... *Han Rubin, Li Xiaocen* (10)
- Study and analysis on the tinning layers of two bronze ornaments unearthed from Guyuan  
County, Ningxia Autonomous Region ..... *Sun Shuyun* (17)
- Technical analysis of a tinned cock-head mace with nine joints excavated from Yanyuan  
County, Sichuan Province ..... *Cui Jianfeng, Wu Xiaohong, Liu Hong, Tang Liang* (23)
- Tinned bronze belt plaques during Spring-Autumn period in Northwest China: A technique  
study ..... *Ma Qinglin, David A. Scott* (40)
- Current status and expectation for the study of Chinese ancient materials .....  
..... *Wang Changsui, Yang Yimin, Hu Yaowu* (49)
- The ternary evidence method & the researches of the history of sciences and technology  
and the researches of archaeometry ..... *Zhou Weirong* (58)
- Precise dating of tomb three in Dulan, Qinghai Province, on the basis of dendrochronology  
..... *Wang Shuzhi, Shao Xuemei, Xu Xinguo, Xiao Yongmin* (66)
- Chinese monumental iron castings ..... [DK] *Donald B. Wagner* (82)
- The research of the anticorrosion performance macromolecule material using in protecting  
ironware ..... *Xu Fei, Wan Li, Chen Burong, Hua Feng* (90)
- A analytical report on bronze pieces of M9, M91 tombs of marquis of Jin ..... *Yang Xiaolin* (101)
- Primary research on the laboratory excavation and conservation of the mineralized bronzes  
..... *Ma Jingyu, Zhang Zhiguo, Song Yan, Shi Chengzhe* (110)
- Study of glazed tiles from the Summer Palace .....  
..... *Gao Dawei, Liu Yuan, Chen Qu, Song Yan, Zhang Zhiguo* (118)
- The preliminary restoration of thangkas ..... *Shang Li, Liu Endi* (125)
- Analysis of the pigments from thousand hand of Buddhism statue in Dazu County .....  
..... *Tian Xingling, Zhou Xiao, Gao Feng, Chen Huili,*  
..... *Xi Zhoukuan, Jiang Siwei Yan Xuefeng* (132)
- The nebamun wall paintings of the British Museum ..... [UK] *Eric Miller* (144)
- Out of their native earth; the history of excavation and conservation of Ancient Hopi Murals  
from Awatovi and Kawaika-a .....  
..... [USA] *Angelyn Bass Rivera, Leslie Rainer, Lydia Vagts* (157)
- Paradise: to intervene or not? A review of some past conservation approaches for the  
treatment of clay-based Chinese wall paintings and a set of seventeenth-century Chinese  
gate panels ..... [USA] *Kathleen M. Garland, Joe C. Rogers* (168)

# 中国古代的大型铸铁器\*

[丹麦] 华道安 著  
李 园 译

**摘要** 本文评述了中国古代大型铸铁器的制作工艺。讨论的问题包括：使用块范法如何改善铸造白口铁时产生的范痕；硫的使用对铸造细节的改善，以及硫对铸铁钟音质的影响；大型沧州铁狮子上所采用的锻铁加固和分段铸造；铁炮铸造中所涉及的特殊问题；中国古代大型铸铁器的不锈之谜，中国古代铸铁器的耐蚀性可能与其低硅含量有关。

**关键词** 大型铸铁器，制作工艺

## 一、引 言

至迟从 8 世纪，中国就开始制作重达数吨的大型铸铁器<sup>①</sup>——塑像、钟、塔等。图 1 中<sup>②</sup>宏伟的铁牛和铁人就属于这

类器物。它们铸于 724 年，在 1989 年发掘出土<sup>③</sup>。在此之前，我们所知最早的有详细年代记载的大型铸铁器，是位于韩国全罗南道宝林寺的毗卢遮那坐佛（Vairocana）。该佛像高 2.51m，铸于 858 年（Best, 1990）。



(a)



(b)

图 1 两张近年挖掘出土的铁人和铁牛的照片  
(照片由唐寰激拍摄，现藏于剑桥李约瑟研究所，承允使用)

\* 本文翻译工作受到国家科技支撑计划项目“铁质文物综合保护技术研究”的支持，项目编号为 2006BAK20B03。

① 这篇文章较早的版本曾译成德文发表在《中国：世界文化的摇篮之一》（*China, eine Wiege der Weltkultur*）（Mainz, 1994）一书中，其中缺失了大量的原插图，并加入了很多无关的插图。图 8~图 10, 21, 22 和 29 中的照片是作者于 1984 年拍摄的，而图 3~图 7, 图 11~图 15, 图 17~图 19 和图 25~图 26 中的照片则摄于 1987 年。

② 这篇文章中的大多数图片都是彩版的，请登录以下网址观看：<http://www.staff.hum.ku.dk/dbwagner/monfig/monfig.html>

③ 它们位于山西永济县，是用来固定蒲津桥的地锚的。（Needham, 1962, 1971；Paludan, 1994）

这些铁器吸引了很多西方冶金学家和旅行者的注意<sup>①</sup>，但在西方文献中，有关铸造此类大型铁器所存在的工艺问题及其解决方法的著述却难得一见。在本文中，我将探讨几件重要的大型铸铁器的制作工艺问题，这些铸铁器要么是我自己调查过的，要么是有充足资料的<sup>②</sup>。

## 二、块范法

让我们从中岳庙的四个著名的铸铁武士像（图2~图4）开始。这些塑像的高度在254~260cm，其中一个塑像上的铭文表明它们铸于1064年，（史岩，1988）。在图4中可以看到直线网状的接缝（范线），这清楚地表明，在这些塑像的铸造中使用了传统的块范法<sup>③</sup>。众所周知，这种方法早自商代即开始用于铸造大型和小型的青铜器，直到20世纪仍在应用（Karlbeck, 1935；



图2 河南登封中岳庙内保卫古神库的四个武士生铁塑像

Fairbank, 1962/72)，故在此只做一个简要的描述。首先，做一个与待做铸件大小、比例完全相同的模型，该模型用黏土做成，并可用木头或金属做内芯支撑物。待模干燥后，在外面抹上厚厚的湿黏土，当黏土半干至可以牢固结合时，将其切成几块，然后小心地取下，其上保留了模的造型。将这些分开的黏土块干燥，或烘烧，增强其耐久性。然后，小心地刮削之前的模，制成内芯，所刮去黏土的厚度也就是待做铸件的厚度。将之前的黏土块重新拼合在这个内芯的四周，形成外范。然后再用木支架和泥土进行支撑、加强。做一个或几



图3 图2所示的武士中的一个（作者摄于1987年）

<sup>①</sup> 例子参见，Boerschmann, 1924; 1931: 336~365; Dickmann, 1937; Foster, 1919; 1926; Johannsen, 1942; Paludan, 1994; Read, 1936; Till & Swart, 1993; Vogel, 1930.

英国军队在1842年占领了江苏扬子江畔的镇江，当时记录了一座铁塔，其现在的地理位置不明。（Ouchterlony, 1844）：

“在城东的高地上有一座古老庄严的寺院，其建筑风格与现今寺庙中所见到的有很大不同……有一座九层高的塔，由铸铁制成……高大概有二十五英尺，基座的周长有十六到十八英尺（即7.6m和4.9~5.5m）。塔是分段铸造的，就像旺多姆广场（Place Vendôme）的圆柱一样。每段都构成塔的一层，形状为八角形，各个面上有优美的哥特式风格拱门。塔中的木制品已经完全损坏了，金属也随着时间的流逝而破损了。这座塔可以算是此次探险过程中所见到的众多证据中的一个，表明中国人很早就掌握了铸铁技艺的知识。我们曾打算把这座铁塔作为一个战利品带回到英格兰去，并且已经着手搭建有结实支柱的手脚手架准备搬移铁塔，然而合约的签订中止了这一计划的实施……”

<sup>②</sup> 李秀辉（1989）提供了非常有价值的有关中国大型铁器的调查，其中涉及已发表的文献。

<sup>③</sup> 奇怪的是仍然有一些艺术史家坚持认为，像这样的铸痕表明这些塑像是先分别铸造出几个部分，然后再以某种方式将它们装配成一个整体的。（史岩，1988；Best, 1990）



图4 图3所示的铁人铸件的细部（作者摄）

个浇注口，将熔融的金属液浇入这个模具中。当模具移走后，铸成的器物上就会在各个外范块结合的部位显出清晰的范线来。在青铜铸件上，这些范线通常被打磨去掉，但在铸铁件上，这种方法通常是行不通的。

在开封铁犀牛（图5、图6）上我们可以看到一个有关块范法的有趣现象。该铁犀牛铸于1446年，很明显它也是用块范法铸成的。图7所示的部位，第一眼看上去像是后来修复过的痕迹，但仔细观察发现金属其实是连成一体的。我们所看到的痕迹是修复外范留下的，而不是器物浇铸后再修复留下的。有可能是将外范拼合在内芯四周时出现了某种意外，从而导致这里形成了一个明显的破损。到此时，原有的模具已经改作成内芯而被破坏了，也不可能再做一个一样的模具。因此，在外范破损处的碎片就被替换了，而其上的三个突出物就是将其固定的装置留下的痕迹。

中国的大多数大型铸铁器上都可以看到铸痕或范线。奥斯伍尔德·喜仁（Osvald Sirén, 1927）注意到在德国收藏的1499年铸造的铁罗汉上面“有纸和油漆的

痕迹”。不难想象，我们这里讨论的很多塑像原来都使用了石膏或某种型纸（papier-maché）<sup>①</sup>来掩盖范痕<sup>②</sup>。上文提到的铸于

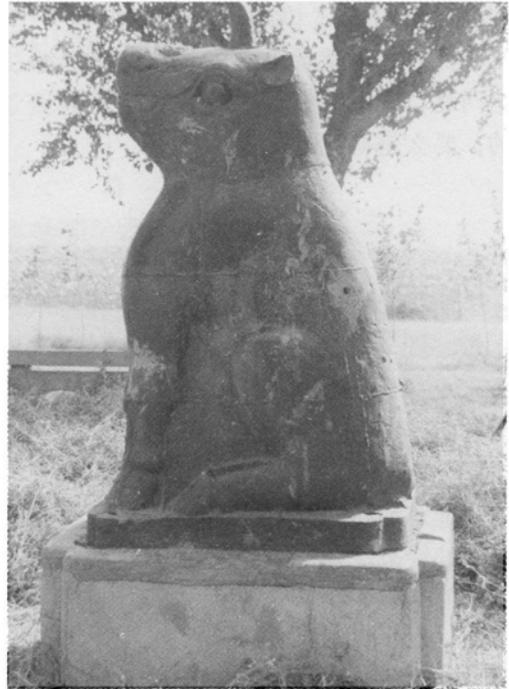


图5 铁牛村的“铁犀牛”（作者摄）  
该村位于河南开封市东东北方向2km处。  
该牛铸于公元1446年



图6 图5所示的铁犀牛的背部细部（作者摄）

① 译者按：papier-maché，一种在粗糙的模型上用胶水黏彩纸或者彩色的布料，最后黏出图案，做成一个小雕塑或者面具。

② 1987年在开封博物馆，李克修先生友好地向我展示了库房中的几尊铁罗汉，它们可能就是以这种方法处理的，但是由于我们的唯一光源是闪光灯，所以我无法对这些罗汉塑像进行细致的观察。

858年的韩国毗卢遮那佛据称也使用了“油漆和黏土修饰”。尽管这些修饰看起来有些现代感，但它们很可能是对早先修饰物的忠实复原（Best, 1990）。在照片上，可以看到这座塑像上的范痕，但是较之没有黏土覆盖的塑像，可以认为这些范痕已经不是十分明显了。

### 三、白口铁

尽管我们没有对这些铁铸像进行金相学和化学分析，但范痕未被除去这一事实已经非常确切地表明这些铸铁制品是白口铁。白口铁中含有大量的渗碳体（ $Fe_3C$ ），比石英还要坚硬，很难加工处理，不能用普通的锯和锉进行切割或锉磨。当铸铁以白口铁形式凝固时要满足以下条件：①硅含量低；②硫含量高；③在模具中迅速冷却<sup>①</sup>。大型铁器在模具中的冷却都很慢，但已有的分析表明几乎所有的中国古代大型铸铁的硅含量都很低，而且大多数的硫含量都很高<sup>②</sup>。

现代的铁铸工如果接到一个铸造这种大型铁铸像的任务，他们情愿用灰口铸铁。灰口铁通常比白口铁更易铸造，也比较柔软，所以诸如范痕这种缺陷可以很容易锉平去除。

中国古代铸铁的硅含量低（归因于中国铁冶炼技术的特定情形）意味着当时的铸铁很少是灰口铁，而且大多数大型铁铸件如同上文提到的都有范痕。有时候这些范痕并不明显，如图7~图10中的两座铁塔，分别修建于963年和967年，见图版10。它们是几部分分别铸造，再组合在一



图7 广东省广州市光孝寺中的“东铁塔”  
（作者摄）

铸于967年。近年来围绕该塔修建了一座建筑对其进行保护，因此只能通过窗户对其进行拍摄



图8 光孝寺“西铁塔”遗迹（作者摄）

① 有关铸铁冶金较详细的介绍请参见 Wagner, 1993。

② 有关铸铁器分析的文献有：Pinel et al., 1938；Wagner, 1993, chapter 7, table 7.1；Rostoker et al., 1984。另请注意下文将谈到的有关沧州铁狮子的分析。很多中国古代铸铁中的高硫含量通常被视作为一个标志，表明铁的冶炼或再次熔炼中使用了煤。从刊布的资料（Hartwell, 1967；华觉明, 1989）和碳同位素方法（仇士华等, 1986）可以得知，中国早在宋代或更早就开始在冶铁中使用煤了。但是，正如后文将要论及的，很多大型铸铁器中的高硫含量也是有意进行合金化造成的。



图9 图8所示“西铁塔”的局部（作者摄）



图10 图8和图9中“西铁塔”的细部，展示的是药师佛的塑像（作者摄）

起。这两座铁塔可以确定为白口铁铸造，但几乎没有任何范痕的痕迹——除了在转角可能有轻微的范痕，如图9所示。

可以假定，在这种情形中，范痕是被磨掉了，采用的是磨石一类的工具。这项工作非常艰苦<sup>①</sup>。为了将相关劳动减到最

小，需要事先做好特殊的准备。将外范间的接缝设计在磨具容易操作的部分。制作外范时务必小心谨慎；使各部分完美接合，由此减少接缝。另一种解决范痕问题的方法是将范痕设计成装饰的一部分，如图11所示的大钟。



图11 北京大钟寺中的铁钟，铸于永乐年间（1403~1424年）（作者摄）

一般而言，就某些用途，使用高硫铸铁较之白口铁是有利的。在18世纪第一个对铸铁做系统研究的列奥米尔（Réaumur）曾发现，他的一个试验之所以失败是因为一个铸工向铁中加了硫，使铸造更易进行（Sisco and Smith, 1956）。罗斯托克尔（Rostoker）和布朗森（Bronson）曾简要报道了一些实验（Rostoker and Bronson, 1990），表明了加硫对铁的影响：看来高硫含量可能减少了液态铸铁的表面张力，所以液态铸铁可以很好地填充于模具中一些

<sup>①</sup> 罗斯托克尔（Rostoker, 1984）的文章直接叙述说这是不可能的，大概的意思是这么做需要的劳动支出不切实际的。很明显，如果严谨地以古代文明为背景，很难讨论清楚什么样的劳动支出才是合理的。

细微之处。

其次，白口铁有非常低的阻尼减振性能，因此它是一种很好的铸钟材料，罗斯托克尔 (Rostoker et al., 1984) 等对此曾有详细的讨论<sup>①</sup>。铸铁钟在中国很常见，而在世界其他国家却很少或根本见不到。在北京的大钟寺博物馆中可以看到很多宏大铸铁钟的例子，如图 11 所示的大钟就是一例。罗斯托克尔 (Rostoker et al., 1984) 等对芝加哥费氏自然历史博物馆收藏的三个中国铸铁钟的检测是仅有的金相学分析结果。这三个钟的年代属明清时期，用白口铁铸造，分别含硫 0.29%、0.40%、0.57%。如此高的硫含量可能是通过以下两种方式得到：专门用以煤为燃料的高炉进行炼制，或在铸造前向熔融铁中加入黄铁矿 ( $\text{FeS}_2$ ) (一类的含硫矿物) 的方式。

中国古代铸铁的低含硅量会带来一个特定的问题，就是在铸件中会形成气泡。



图 12 河南登封少林寺中的一口破裂的钟  
铸于 1204 年 (作者摄)

图 13 为河南登封少林寺铸于 1204 年的已经破损的大钟断面，在表层下方就可以看到气泡。气泡对于钟的质量非常有害，这些气泡会提高金属的阻尼减振性能 (Schad and Warlimont, 1972, 1973)。表层下方的气泡可能也会导致另一个缺陷，即钟的一些部分会出现表面剥落，如图 10、图 14、图 15、图版 11 所示。



图 13 图 12 所示铁钟之断裂处的细部 (作者摄)



图 14 北京大钟寺的铁钟铸于 1626 年 (作者摄)

<sup>①</sup> 另一方面，灰口铁由于其高阻尼振动性而受重视，是机械基座一类的现代应用中的首选材料。



图 15 图 14 所示铁钟的细部 (作者摄)

#### 四、沧州铁狮子

著名的河北沧州铁狮子如图 16 ~ 图 19 所示, 通常被誉为世界上最大的铸铁件。它铸于 953 年, 高 5.4m, 长 5.3m, 宽 3m, 质量约为 50t。艺术史家认为这个狮子最初是放在一个佛教寺院内, 佛教寺院现在已不复存在, 而在狮子背部莲座上还应置有文殊菩萨的青铜塑像。可能早在后周世宗皇帝 (954 ~ 958 年) 统治时期的灭佛运动中被移走了。

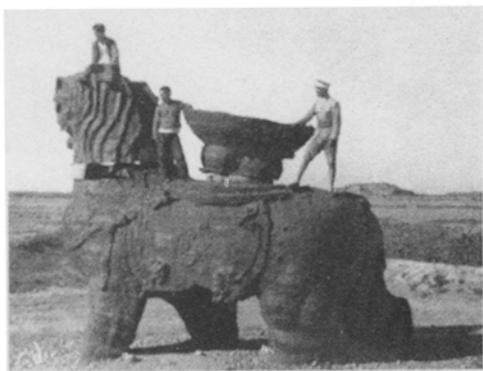


图 16 沧州铁狮子 (理德摄于 1907 ~ 1910 年) 他的图片说明是这样的 (Read, 1937): 它……在 953 年铸成, 分成几个部分, 像一个混凝土建筑一样。它后来被毁坏, 倾倒, 散成四块。其中的一块是下颚, 躺在地上, 图中没有显示; 它的头部和莲花座用厚石片笨拙地支搁在原位, 所以其原貌的某种神韵已经丧失掉了



图 17 沧州铁狮子 (作者摄于 1987 年) 注意现代修复的部分和遗失的下颚



图 18 沧州铁狮子头的内部 (作者摄) 显示有更多现代修复的部分。从照片中可以看到浇铸中用于加固的锻铁从照片的中心向右下方延伸

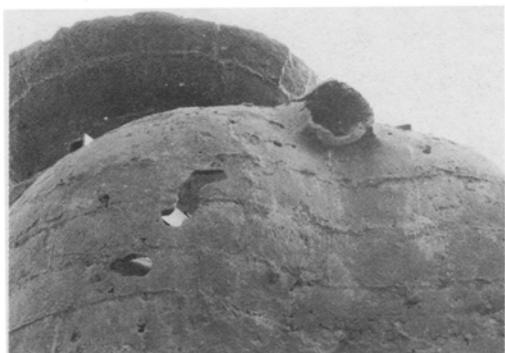


图 19 沧州铁狮子的尾部 (作者摄)

到 1603 年, 狮子的尾巴遗失了。在 1803 年的一场暴风雨中, 狮子发生倾倒, 结果导致其鼻子和腹部受到损坏。1886 年, 沧州知府宫昱派人用砖石对其进行支撑<sup>①</sup>。美国矿业工程师托马斯·T. 理德 (Thomas T. Read) 在 1910 年见到这个铁

① 关于铁狮子的历史参见: Anon (1603)、张坪等 (1933)、read (1936、1937)、罗哲文 (1963)、王敏之 (1985) 等文献。

狮子时，它已经破裂为四块：身体、莲座、头部和下颚，它们散落在地面，自那以后就再也没有见到下颚。1984年，对铁狮子进行了专业修复，并将其移到了一个以混凝土加固的2m高的底座上。

皮内尔等（1938）对理德做的一份样品的化学分析和金相检验做了概要性的报道。最近，中国的一个由考古学家和冶金学家组成的研究小组发表了详细论述铁狮子铸造方法的论文（吴坤仪等，1984）。下文的叙述几乎完全基于已发表报告的内容。

狮子表面有矩形格子的范痕，可见它是用块范法铸成的。外范做好后，将许多圆头铁钉打入内范的各个面以固定其与外范间的距离。狮子背部的铸铁块（铸造工称其为“芯撑”）也是出于相同目的。当铁液倾入范中时，铁钉与芯撑就和铸铁合为一体；可以通过对表面的仔细观察发现它们的痕迹。

经观察还发现狮子的颈部和背部铸入了起加固结构作用的熟铁架子（图18），这样做大概是因为只用铸铁不足以承担5t的莲花座和青铜菩萨。

狮子的中间部位以上有规则间隔的水平线，铸工称之为“冷隔线”。冷隔线是由于模具中的铁水在模具被填满之前就过早冷却而形成的一种缺陷，这表明狮子是分步铸成的。首先，制作一个大约高度为所需铸件一半的外范（图20）。然后再做范的剩余部分，边浇铸边合范。冷隔线会大大地降低铸铁件的强度。铸工们意识到这个问题，于是在铁表面凝固时嵌入铁钉来解决。这样在各个局部灌注完以后，铁钉就可以将铸造中的各个部分结合在一起。这种操作并不是完全成功的，有些铁钉由于流动的熔融铁的作用而移位。有些后来从铸件上掉下来，留下了富有特征的凹槽甚至空洞。

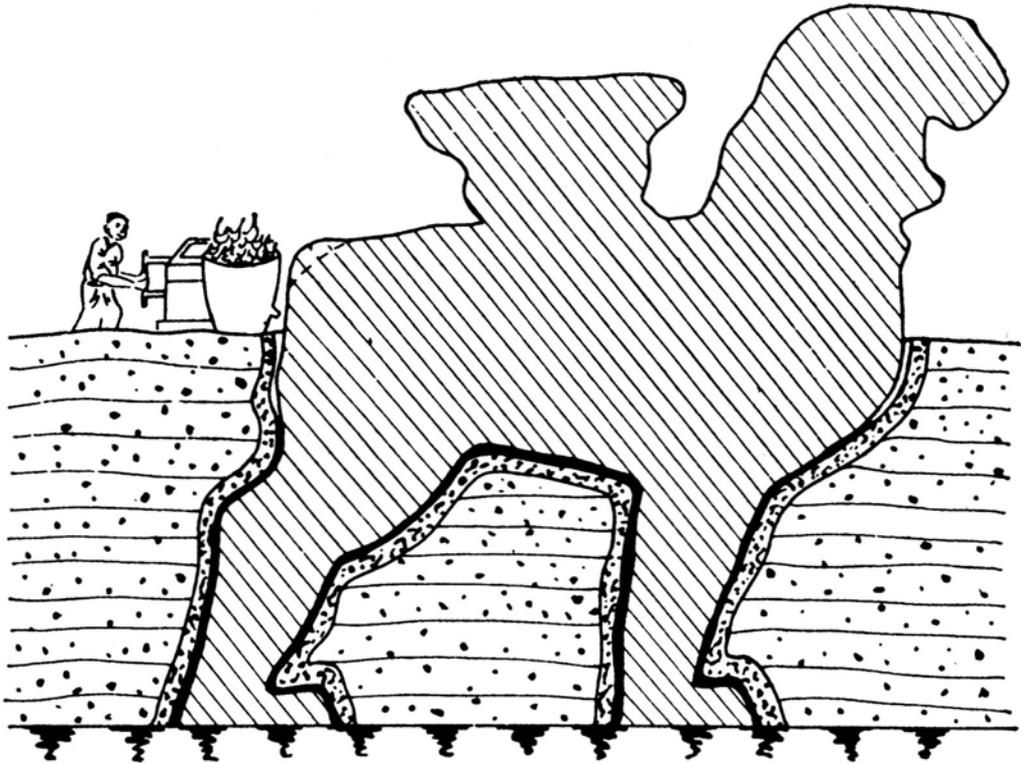


图20 表现沧州铁狮子如何铸造的草图（吴坤仪等，1984）

有两份从铁狮子上取下样品的化学分析结果：一份来自于理德（Pinel et al., 1938），另一份来自中国工作队（吴坤仪等，

1984），如表1所示（两个报告中都没有指出用作化学分析的样品是出自铁狮子的哪个部分）。

表1 样品化学分析表

元素符号	C	Si	P	Mn	S
理德	3.96%	0.09%	0.231%	0%	0.022%
中国工作队	4.3%	0.04%	0.087%	0.02%	0.022%

两份分析的不同之处（特别在磷的含量上）明显地表明：这个铁器不是单一连续灌注铸成的。硅含量很低是中国古代铸铁的典型特征。现在的铸工在这种铸造中更喜欢使用硅含量为2%的合金。理德对样品的金相检验显示，这是一种带有条状石墨或麻口相（a streak of mottling）的白口铁（Pinel et al., 1938）。中国工作队做了三个铁狮子铸铁结构样品的金相实验，三个样品中的一个取自狮子背部右侧，两个取自莲花座。有两个样品显示为珠光体灰口铁，而取自莲花座上部边缘的样品则是带有少量麻口相的白口铁<sup>①</sup>。

## 五、铸 铁 炮

14世纪，中国发明大炮后<sup>②</sup>，铸造大

型铁器早期积累的经验在人们铸炮时帮了大忙。制炮的首选材料几百年来一直是青铜，但是由于铸铁在经济上比青铜有更大的优势，因而在中国得到广泛使用。在欧洲，早期铁炮是用锻铁制作的。很多历史学家认为，对较为省力技术的需求导致了铸铁在欧洲的发展。

图21所示是一个清代早期的铸铁炮，由范痕可以很明显地看出它是用块范法铸成的。另外，图22、图版12中所显示的炮铸于1841年，上面没有范痕，可能是使用了某种不同的制模技术，正如图24的白描和水彩画所显示的那样，外范的制作可能没有使用模具。见图版13、图版14，看起来内芯是木质的，但考虑到熔融铁的高温，这几乎不可能。然而，对这个问题应有一种解答。



图21 清代铸铁炮

① 查中国学者（吴坤仪等，1984）发表的论文原文可知：三个铁狮子铸铁样品的检测结果均为灰口铁，取自莲花盆口沿的样品的金相组织为：粗大珠光体，铁素体基体，石墨条分布不均，片状石墨在局部地区聚集（见《文物》1984年6期，84页）。

② 有关中国的铁炮可以参见以下文献：  
Needham and Joseph, 1986；胡建中，1986；刘旭，1989。



图 22 铸铁炮（作者摄）

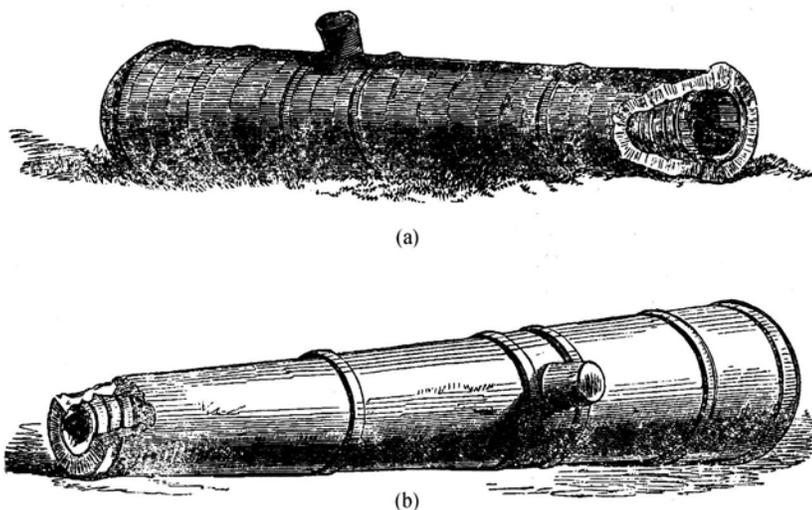
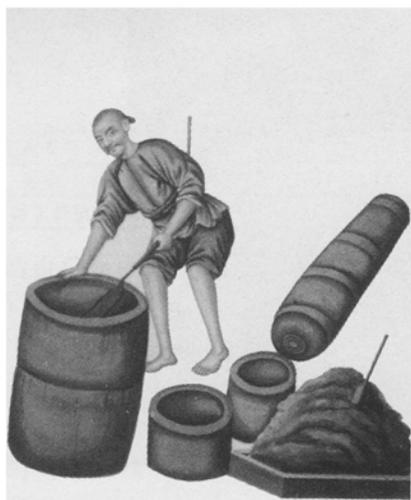


图 23 1860 年 George Banks 在大沽（现天津市）绘制的两门中国铁炮  
 Banks 认为这两门铁炮“显然很古老”，应该是 17 世纪或更早铸成的。这个年代是可能的，只是不清楚他断代的依据是什么，Banks 没有提到任何铭文（Banks, 1861）：“第一门炮在炮口处有一块破损，由此可以使我了解它是如何铸造的。内部或炮膛是用纵向的长棍儿制成，长棍儿宽 1in<sup>①</sup>，厚 0.5in（2.5cm，1.3cm），将它们锻接在一起，并在炮口的末端形成一个嘴。然后，在外面用圆环将它们捆在一起，圆环厚 1in，宽 3in（2.5cm，7.6cm），也是锻接在一起。在最外部是铸铁层，炮口处厚达 2.75in（7cm），当然炮尾部的壁厚要厚得多，从而形成炮的形状。炮的表面有模糊的线，是由构筑外范的砖之间的缝隙引致的，而铸造是在外范中进行的。这门炮长 114.5in，尾部直径 23.75in，炮口直径 15.5in（291cm，60cm，39cm）。第二门炮情形类似，但它只是把圆环锻接在一起，再在外面套铸一层生铁。其特别之处就在于这两门炮的破损方式是一样的。第二门炮长 115in，尾部直径 25in，口部直径 16in（292cm，64cm，41cm）”

① 1in = 2.54cm。下同。



做坭炮坯

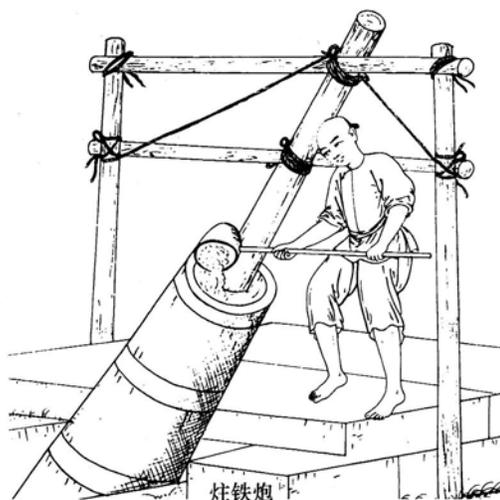
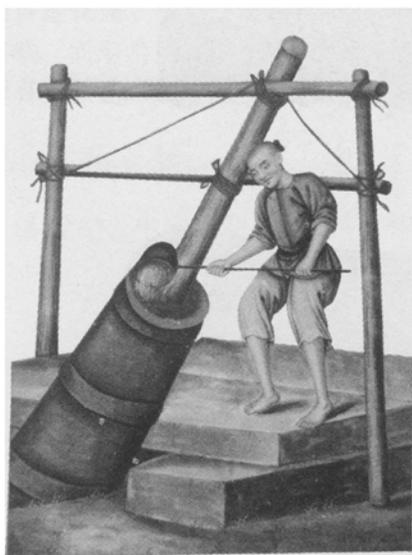


图 24 炮的模范制作和铸造

不知名中国艺术家绘制的线描和水彩画，被广州外交使团的成员购得，现存于法国巴黎国家图书馆（经巴黎法国国家图书馆概允复制）

这些中国铁炮还没有进行过现代金相学的检验，但是图 23 给出了一张两个破损炮的草图（由在 1856 年第二次鸦片战争中为英国服务的一个外科医生绘制），其绘制方式揭示出了铁炮内部结构的某些状况。就每门炮而言，其内有一个锻铁制成的炮

管提供强度和韧性，而外侧炮管则由生铁铸成以提供质量和额外的强度。早期西方的青铜和铸铁炮最大的不同之处在于：当开火失败时（炸膛），青铜炮仅会裂开，但是铸铁炮会爆裂成碎片并飞向四周，常常会造成操作人员和附近围观者的死亡

(Rostoker et al., 1986)。将锻铁和铸铁以如图 23 所示的方式组合, 经济可行又不会酿成严重的后果。如果图 23 中的炮有这种锻铁炮筒的话 (只从观察无法确定), 就可以解释这门炮是如何成为可使用的武器了。它很明显是一个“劣质的 (rotten)”铸件, 在其破损处可以清楚地看到大的“铸孔 (blowhole)” (这些都是铸工们使用的术语)。将锻铁炮筒装入铸铁外套中, 炮口边缘铸铁的强度要求就无需很高。

由此, 在图 24 中, 看来放入模具中的木轴可能并非用做一种内芯, 而是用来支撑锻铁炮筒的, 以便生铁在其四周浇铸。倾斜模具可以预防熔融铁从 2~3m 距离落下来时损坏底部; 在灌注过程中的某个环节还要将其抬到一个垂直的位置。使用这种没有“铸顶”的敞口模具, 几乎可以肯定会在铸件的上端产生铸孔。

另一种复合炮, 如图 25、图 26 所示, 收藏在北京首都博物馆。于 1643 年铸成, 其内有一个铁炮筒 (锻铁或铸铁), 其外则包铸有青铜<sup>①</sup>。另有两个中国的青铜-铁炮在鸦片战争中被英国军队缴获, 成为 1867 年英国皇家军械库一项工艺调研的对



图 25 北京首都博物馆的大炮  
(铸于 1643 年, 作者摄)

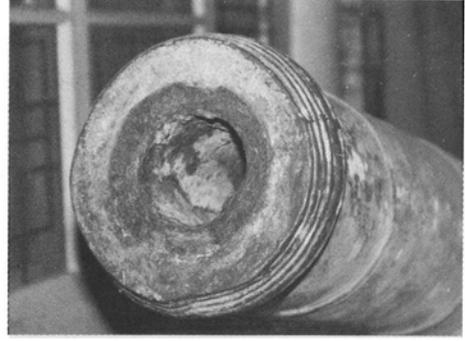


图 26 图 25 所示大炮的炮口 (作者摄)  
注意其内部为铁, 外部为青铜

象。这两个炮被剖开, 非常清晰地显示出其构造, 如图 27、图 28 所示。从图 28 中可以看到内层和外层铁之间明显的分界线。很明显外层的铁是铸铁, 它是围绕内层浇铸成的, 而内层的铁则可能是锻铁或铸铁<sup>②</sup>。

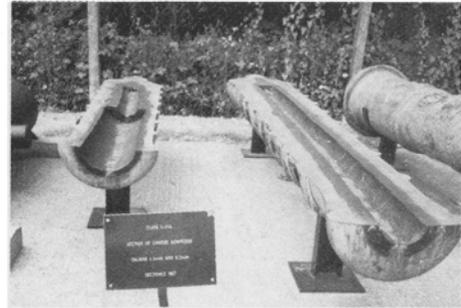


图 27 两门中国青铜-铁炮的纵截面  
(作者摄)

在鸦片战争中这两门炮被英国军队抢走, 1867 年被英国皇家军械库用于工艺研究, 现收藏于英国伦敦伍尔维奇 (Woolwich) 军械博物馆。照片摄于 1996 年。铁的部分被涂上黑色防止其生锈, 同时需要注意的重要一点是, 青铜和铁部分的分界线无论在此图还是图 28 中都无法明确地区分。在左边的炮上, 保留了一篇铭文的一部分, 保存下来的部分铭文里没有包含该炮铸造的年代

① 另一个有关复合材料使用的有趣例子是伦敦塔所收藏的一座小炮, 是鸦片战争中英国军队的战利品。它的铁炮筒外面用数层丝绸包裹; 不知道炮筒是铸铁还是锻铁。丝绸的强度几乎与锻铁一样, 但它比锻铁更轻更有弹性, 这种组合无疑给出了一种极好的轻便型武器。关于这件铁炮的照片, 请参见无名氏的文章 (Anon, 1988)。

② 牛津大学材料系基于材料科学考古小组的布莱恩·吉摩尔 (Brian Gilmour) 博士不久将发表这些炮的金相测试结果。

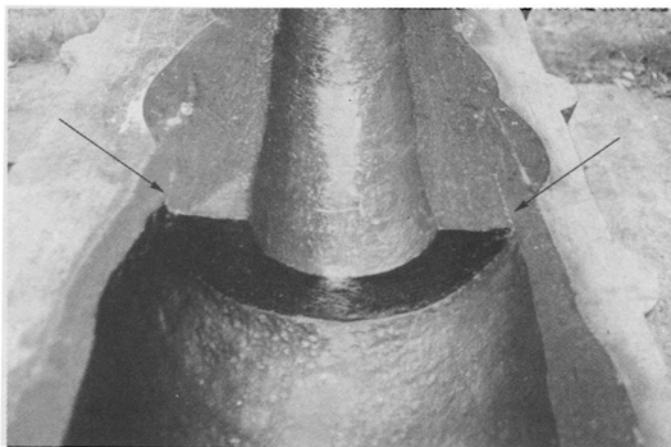


图 28 图 27 中左边的炮的细部（作者摄）  
箭头所指处为两层铁的分界线

## 六、腐 蚀 状 况

本文所讨论的很多铸件处于露天环境已有几百年了，但令人惊讶的是它们竟然没有生锈。这怎么可能呢？一个重要因素就是它们非常大，以至于在白天被太阳晒过后保持了足够的热量，在晚上到早上的时间里没有形成凝露。但是，这可能并不是唯一的原因。图 29 就是一个例子，铭文表明这个熏香炉的下部（容器的下底部和

腿部）是原有的，铸于明代；而上部（肩部和边缘）是替换过的部分，铸于 1934 年。上面的部分腐蚀很严重，然而下部却完全没有腐蚀。这种情况可能与古老铸铁中的低硫含量有关。另一个可能的因素是古代铸铁的硅含量低。几年前，我在实验室做了一系列实验，都需要通过高浓度盐酸对很多铸铁深度腐蚀来显示其石墨的微观结构。在这个实验中，我注意到在浸蚀速度上至少有十倍的差别，这显然与铁中的硅含量在 0.2% ~ 2% 变化有关。



图 29 香炉（作者于 1984 年摄于杭州）  
炉的下半部分（圆底和腿）是原有的，铸于明代；上半部分（肩部和口沿）是缺失部分的替代物，铸于 1934 年。二者在器物的直径最大处接合

## 七、结 论

在本文所讨论的器物中,我们看到中国铸工采用了古代的一些铸造方法并将其发展来迎接新的工艺挑战。白口铁相对于青铜要难铸造得多,需要更高的温度和复杂的模具设计才可铸造,同时大型的铸造器物意味着需要有更大的熔炉和可以快速转移大量熔融铁到模具中的安排。沧州铁狮子对于任何单独的熔融装置来说都过大了,铸工无法提供,因此用分段浇铸来取代,从而导致进一步的工艺问题有待解决。白口铁的硬度意味着要想减少范痕,要么通过模具的设计安排,要么将范痕合并到装饰中,要么以某种遮盖物隐藏范痕。沧州铁狮子和一些晚期铁炮,其材料的强度和韧性上的缺陷可用锻铁加固处理而将其解决,这可能导致了新的铸炮技术的发展。毫无疑问,中国铸铁技术既有继承又有革新,因此在理解中国古代传统技术时必须同时考虑这两方面。

### 致谢

本文在梅建军教授推荐翻译下,并经他联系原作者华道安(Donald B. Wagner)博士而获得中文翻译版权。图版25版权承蒙法国修复师Pauline Chassaing女士(在河南博物院研修中国字画修复)联系并予以担保。译者感谢华道安博士慨允授予中译版权。马清林、沈大焜博士对翻译工作给予帮助,谨此表示衷心地感谢。

### 参 考 文 献

- 曹百龙. 1987. 北京的古钟博物馆. 中州今古, 1: 39.
- 仇士华, 蔡莲珍. 1986. 我国古代冶铁燃料的碳十四鉴定. 中国考古学研究——夏鼐先生考古五十年纪念论文集. 北京: 文物出版社, 359~363.
- 樊旺林, 李茂林. 1991. 唐铁牛与蒲津桥. 考古与文物, 1: 52~55.
- 胡建中. 1986. 清代火炮. 故宫博物院院刊, 2: 49~57; 4: 87~94.
- 华觉明. 1989. 煤、煤团及球团在中国古代冶金中的应用. 中国科技史料, 10(4): 3~5.
- 柯俊. 1986. 中国冶金史论文集, 北京: 北京钢铁学院.
- 李秀辉. 1989. 中国古代的大型金属铸件. 中国科技史料, 10(1): 70~73.
- 刘旭. 1989. 中国古代火炮史, 上海: 人民出版社.
- 罗哲文. 1963. 沧州铁狮子. 文物, 2: 38.
- 史岩. 1988. 中国美术全集: 雕塑编, 五代宋雕塑. 北京: 文物出版社.
- 孙淑云. 1984. 当阳铁塔铸造工艺的考察. 文物, 6: 86~89.
- 王敏之. 1985. 沧州铁狮子. 文物天地, 2: 37.
- 吴坤仪, 李京华, 王敏之. 1984. 沧州铁狮子的铸造工艺. 文物, 6: 81~85.
- 徐华铛. 1986. 中国古塔. 北京: 轻工业出版社.
- 张坪, 许国垣. 1933. 沧县志, 中国方志丛书: 华北地方. 台北: 成文出版社. 143.
- Anon. 1603. Wanli Cangzhou zhi. Rare books of the National Library Peiping. Microfilm. 641.
- Anon. 1988. Chine ciel et terre: 5000 ans d'inventions et de decouvertes. Exposition, 16.
- Banks, George. 1861. Chinese guns. The Illustrated London News 6 April 1861: 325.
- Best, Jonathan W. 1990. An early Korean cast-iron head of Buddha. Bulletin of the Detroit Institute of Arts, 65(4): 13~25.
- Boerschmann, Ernst. 1924. Eisen- und Bronzepakoden in China. Fahrbuch der asiatischen Kunst, 1: 223~234.
- Boerschmann, Ernst. 1931. Die Baukunst und religioese Kultur der Chinesen: Einzeldarstellungen auf Grund eigener Aufnahmen waehrend dreijahriger Reisen in China. Bd. 3. Pagoden, Erster Teil. Berlin and Leipzig: DeGruyter.
- Chavannes, Edouard. 1909. Mission archeologique dans la Chine septentrionale. Publications de l'Ecole Francaise d'Extreme-Orient, 13.
- Dickmann, Herbert. 1937. Alter chinesischer Eisenguss. Stahl und Eisen, 57. 18: 528.
- Fairbank, Wilma. 1962/72. Piece-mold craftsmanship and Shang bronze design. In W. Fairbank, Adventures in Retrieval, ed. Fairbank W. Cambridge: Harvard University Press, 181~201.
- Foster F A. 1919. Chinese iron foundries. American Machinist, 51(8): 345~352.
- Foster, Frank A. 1926. Ancient Chinese excelled in making delicate art castings. The Foundry, 15(Feb): 130~134, 146.
- Hartwell, Robert M. 1967. A cycle of economic change in Imperial China: Coal and iron in Northeast China. Journal of the Economic and Social History of the Orient, 10: 102~159.
- Huard P, Wong M. 1966. Les enquetes francaises sur la sci-

- ence et la technologie chinoises au XVIIIe siècle. Bulletin de l'Ecole Française d'Extrême-Orient, 52 ( 1 ): 137 ~ 226.
- Johannsen, Otto. 1942. Alter chinesischer Eisenguss. Stahl und Eisen, 62 (37): 783 ~ 784.
- Karlbeck O. 1935. Anyang moulds. Bulletin of the Museum of Far Eastern Antiquities, 7: 39 ~ 60.
- Needham, Joseph. 1962. Physics. Science and Civilisation in China, Vol. 4. Cambridge: Cambridge University Press.
- Needham, Joseph. 1986. Military technology: The gunpowder epic. Science and Civilisation in China, Vol. 4. Cambridge: Cambridge University Press.
- Ouchterlony, John. 1844. The Chinese War; An account of all the operations of the British forces from the commencement to the Treaty of Nanking. London: Saunders and Otley.
- Paludan, Ann. 1994. The Tang Dynasty iron oxen at Pujin Bridge. Orientations, (4): 61 ~ 68.
- Pinel, Maurice L, Thomas T R, et al. 1938. Composition and microstructure of ancient iron castings. Transactions of the American Institute of Mining and Metallurgical Engineers, 131: 174 ~ 194.
- Read T T. 1937. Iron and steel Industry of China and Japan. Mining and Metallurgy, 1937 (Aug): 383 ~ 384.
- Read, Thomas T. 1936. The largest and oldest iron castings. The Iron Age, (Apr 30): 18 ~ 20.
- Ritter, Karl. 1938. Aufbau und Herstellung der schmiedeeisernen Steinbüchsen des Mittelalters. Technische Mitteilungen Krupp: Technische Berichte, 6 ( 5 ): 113 ~ 127, 129.
- Rostoker, William, Bronson B, et al. 1984. The cast iron bells of China. Technology and Culture 25 ( 4 ): 750 ~ 767.
- Rostoker, William. 1986. Troubles with cast iron cannon. Archeomaterials, 1 (1): 69 ~ 90.
- Schad C R, Warlimont H. 1972. Werkstoffeinflüsse auf die klanglichen Eigenschaften von Glockenbronzen. Metall, 26 (1): 10 ~ 21.
- Schad C R, Warlimont H. 1973. Akustische Untersuchungen zum Einfluss des Werkstoffs auf den Klang von Glocken. Acustica, 29 (1): 1 ~ 14.
- Siren, Oswald. 1927. Studien zur chinesischen Plastik der Post-T' anzeit. Ostasiatische Zeitschrift/The Far East/L' Extreme Orient, 14. 1/2: 1 ~ 20.
- Sisco, Anneliese Grunhaldt and Cyril Stanley Smith 1956. Reaumur' s Memoirs on Iron and Steel. Chicago: University of Chicago Press.
- Till, Barry, Swart P 1993. Cast iron statuary of China. Orientations, (aug): 40 ~ 45.
- Vogel, Otto. 1930. Eisenkunstguss im fernen Osten. Die Giesserei, 17 (23): 553 ~ 558.
- Wagner, Donald B. 1993. Iron and Wteel in Ancient China. Handbuch der Orientalistik 4: 9. Leiden: E. J. Brill.

## Chinese monumental iron castings

[DK] Donald B. Wagner

**Abstract:** This article reviews the technical aspects of the production of very large iron castings in pre-modern China. Among the matters taken up are: the piece-moulding technique and the amelioration of the flash-lines which are unavoidable when this technique is used with white cast iron; the use of sulphur in producing better detail in the castings, and the effect of sulphur on the sound-quality of cast-iron bells; the use of wrought-iron reinforcement and stage-casting iron artillery; and the riddle of the lack of corrosion on many of the pre-modern monumental iron castings. The corrosion-resistance of the ancient iron castings may be related to their very low silicon content.

**Key words:** Large iron castings, The technology of the production



图版 10 “西铁塔”的细部，展示的是药师佛的塑像



图版 11 北京大钟寺的铁钟的细部



图版 12 铸铁炮



图版 13、图版 14 炮的模范制作和铸造



图版 15 两门中国青铜-铁炮的纵截面