中国科学: 技术科学 2012 年 第 42 卷 第 9 期: 1097 ~ 1102
www.scichina.com tech.scichina.com
《中国科学》杂志社
SCIENCE CHINA PRESS

古陶瓷类文物器型结构的数字化特征鉴定

吴隽①, 熊露①*, 唐敏①, 张茂林①, 吴军明①, 李其江①, 黄梦璇①, 李家治②

① 景德镇陶瓷学院, 景德镇 333001;
② 中国科学院上海硅酸盐研究所, 上海 200050
* E-mail: woshiwxb@126.com

收稿日期: 2011-10-27; 接受日期: 2012-02-24
国家自然科学基金(批准号: 51162017)、教育部人文社科项目(批准号: 10YJC780013)和江西省社科基金(批准号: 10LS10)资助

摘要 器型结构特征是古陶瓷传统鉴定中的重要信息之一, 本文以五代、宋、元时期著名的景德镇湖田窑所产的撇口碗为例, 探讨了古陶瓷器型结构特征的数字化提取方法, 充分利用 Matlab 等数学方法在图像增强、边缘提取、曲线拟合等方面的巨大优势, 提升基于传统经验积累、通过目测感官的古陶瓷类文物传统鉴定模式的准确性和有效性, 以结合当前在古陶瓷科技鉴定领域中逐步应用推广的成分数据分析法、热释光技术等方法, 使古陶瓷类文物的科技综合鉴定系统得到进一步完善和提高.

关键词
古陶瓷
器型结构
Matlab

1 前言

我国陶瓷历史源远流长, 不仅种类繁多、风格各异, 而且工艺精湛, 文化内涵丰富, 具有极高的研究和收藏价值. 随着我国人民物质生活的不断提高, 各类收藏活动空前活跃, 社会资本开始介入到博物馆中, 其中古陶瓷器占很大比例, 其拍卖价格也逐步走高, 数千万元乃至数亿元的拍卖价频现, 在巨大的经济利益驱动下, 造假现象和假鉴现象都日益严重, 给许多机构和个人造成了巨大的经济损失. 因此, 如何建立和完善一套古陶瓷类文物的科学鉴定体系成为学术界关注的热点. 在古陶瓷传统鉴定中, 一般通过眼观、手摸等感官手段, 从陶瓷器的器型、纹饰、釉色、胎体、款识等方面来鉴别、判断其年代及产地. 面对传统陶瓷鉴定方法的感官局限, 建立科学化、系统化和定量化的古陶瓷鉴定体系, 提高古陶瓷鉴定的准确度和可信度, 已势在必行. 目前, 现代自然科学技术应用于古陶瓷类文物的鉴定主要有 2 种形式, 分别是热释光技术[1]和成分判别法[2, 3], 主要针对文物的原料配方、元素组成和环境辐射累计量等, 其可行性正逐步为人们所接受, 并开始广泛应用于古陶瓷类文物的研究和鉴定当中. 但我们知道, 古陶瓷不仅是一种技术产品同时也是一种文化艺术载体, 尽管这 2 种技术鉴定方法有着不同于传统鉴定方法的特点和自身优势, 但也同时存在着自身的局限和不足[4]. 传统鉴定模式所关注的艺术表现形式和特点(器型、纹饰等)对于古陶瓷的时空定位同样有非常重要的参考价值. 因此, 如果能借鉴、吸收和利用古陶瓷传统鉴定模式的精髓, 充分利用现代信息处理技术和数理分析方法, 尽可能把感官信息、经验进行准确的量化和系统化, 以尝试获取明确的数字化特征和规律, 并同上述 2 种技术鉴定方法相互结合、互为补充, 无疑将有力的推动我国古陶瓷类文物科技鉴定的发展.

目前, 该方面的研究工作还远远不够, 以作为古陶瓷传统鉴定中重要的依据之一——器型结构特征为例, 尽管近年来有少数学者开展了相关研究[5], 但研究

英文版发表信息: Wu J, Xiong L, Tang M, et al. Identification of ancient ceramics by digital shape characterization. Sci China Tech Sci, 2012, 55: 2441–2446, doi: 10.1007/s11431-012-4851-4

的角度多为直接测量器物的通高、口径、底径等参数[6], 或采用“切片法”等间距地提取器物某些部位的直径尺寸[7]. 上述研究初步展示了器型结构定量化方法在古陶瓷科技研究与鉴定中的巨大作用, 然而, 这 2 种方法较为繁琐, 最主要的是, 它们仅能提取古陶瓷器型结构的部分信息, 难以全面反映出古陶瓷器型结构的特点. 随着近年来计算数学以及计算机技术的蓬勃发展, 使得全面提取古陶瓷器型结构特征, 进而利用古陶瓷器型结构的数字化特征进行鉴定评估成为可能. 有鉴于此, 本文尝试利用 Matlab 作为一种强大的数学软件在图像增强、边缘提取、曲线拟合等方面的巨大优势, 以五代、宋、元时期景德镇湖田窑出土撇口碗样品为研究对象, 探索建立古陶瓷器型结构数字化的方法体系, 即通过图像采集, 并基于 Matlab 的数字图像预处理和古陶瓷图像器型边缘轮廓的提取, 得到其器型边缘轮廓曲线, 进而定量探讨古陶瓷器型结构的时代特征, 为古陶瓷断源断代及鉴定提供新的科学依据.

2 研究样本概况

景德镇作为中国的四大名镇之一, 以生产瓷器而名扬天下. 而景德镇湖田窑兴烧于五代, 历经宋、元、明, 是研究 10 至 14 世纪景德镇制瓷技术与艺术发展演变历史最好的窑场[8]. 湖田窑的产品以盘、碗等为主, 其中撇口碗是具有代表性的典型器型之一. 因此, 本文以景德镇湖田窑出土的撇口碗样品为研究对象, 其中编号为 Htw01~Htw05 样品的时代为五代时期, Htw06~Htw11 为宋代样品, Htw12~Htw17 为元代样品[9]. 典型标本的图片见图 1.

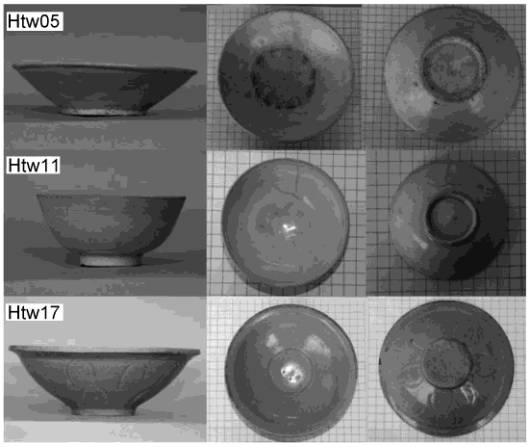

图 1 部分研究样本的外观照片

3 古陶瓷器型结构的数字化特征提取

古陶瓷类文物的器型结构可从 2 个方面理解, 一方面包括口径、底径、通高等可直接测量的参数, 另一方面指器物轮廓曲线. 特别是对于拉坯成型的圆器, 属数学概念中的“旋转体”, 即器物形状可通过轮廓曲线绕中心直线旋转一周完全确定, 因而, 轮廓曲线基本涵盖了全部器型特征信息, 可为古陶瓷类文物断源断代和鉴定提供充足的依据. 为展示器型结构数字化法在古陶瓷类文物研究与鉴定中的优势, 我们以湖田窑撇口碗为例, 通过图像获取、图像变换、图像增强、边缘提取和拟合等步骤获得其轮廓曲线, 并提炼出具有鲜明时代性的特征信息.

古陶瓷器型结构数字化特征的提取, 首先需要获取古陶瓷图像. 在古陶瓷类文物拍摄过程中, 角度、光线、背景等条件的选择, 直接影响到后期数字信息的准确性与可靠性. 在本试验过程中, 为保证研究样本图像不产生形变, 采集图像时采用了平视的拍摄手法, 相机与被摄样本之间保持了约 1 m 距离. 背景颜色使用了国际通用的中灰色, 以防破坏文物的轮廓线, 有利于突出文物. 同时通过虚实对比来突出研究样本主体, 焦点集中在前景的样本上, 通过景深的控制, 将身后的背景虚化, 使主体变得更加醒目和突出, 为数字化处理提取更加清晰的边缘轮廓提供帮助. 此外, 为同时获取器物的口沿、底足等特征信息, 还从俯视的角度分别拍摄了样本口沿和底足的照片(见图 1). 当然, 图像获取过程中还有一些值得研究的问题, 但限于篇幅, 本文对这一部分内容不做进一步展开讨论.

获取古陶瓷类文物的图像之后, 采用 Matlab 软件对其进行数字图像处理. Matlab 作为三大数学软件之一, 具有强大的图形处理功能, 且程序语言简单易懂, 利于非计算机专业的科技人员使用, 适合用于古陶瓷类文物的器型结构数字化特征提取. 针对古陶瓷图像的特点以及器型轮廓特征提取的要求, Matlab 软件处理过程主要包括图像变换、图像增强、图像识别等, 处理流程见图 2.

图像变换的意义在于, 通过平移和旋转等处理手段, 不仅可以增大古陶瓷器型在图像中的比例, 还能矫正拍摄过程中由于手抖等因素影响, 导致古陶瓷类器型的部分变形, 保证后期获取数字信息的准确性和可靠性. 而图像增强的目的是为了消除或减

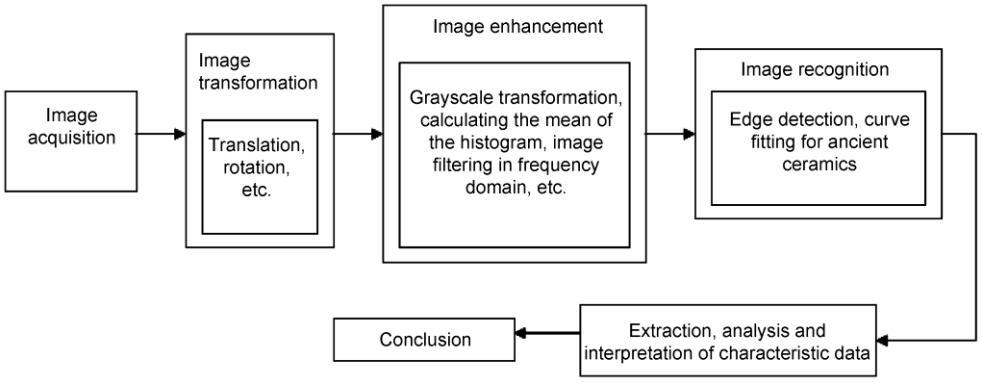

图 2　图像数字化流程

弱古陶瓷器物图像在产生、传输和变换过程中, 由于相机像素、背景等因素影响而与原始器物之间产生的某些差异(通常称为变劣或退化)[10], 通过采用灰度变换、直方图均衡化、频域滤波等方法, 以改善图像的视觉效果, 提高图像的清晰度, 使得古陶瓷类文物的器型边缘轮廓更容易被识别, 有利于其特征的提取.

在古陶瓷类文物研究中, 器物轮廓特征[11]能充分反映其形状信息, 因为边缘轮廓曲线包含了大量的器型特征信息数据; 而在图像视觉特征研究领域, 边缘轮廓特征更接近人的视觉特点, 带给人们更多的视觉冲击[12]. 同时, 边缘是图像上灰度变化最剧烈的地方, 边缘检测即是根据这一特点, 对图像灰度进行微分或求二阶微分来确定边缘像素点. 提取边缘像素点之后, 再采用 Matlab 软件中关于多项式函数的曲线拟合以获取古陶瓷类文物器型轮廓特征曲线. 在边缘轮廓拟合的过程中发现, 拟合阶次不同, 则拟合优度[13]略有差异. 对湖田窑撇口碗进行器型边缘轮廓拟合时, 度量拟合优度的可决系数在拟合阶次为四次时更接近于 1, 表面此时拟合程度最好. 通过对拟合曲线多项式系数的分析, 同样可以看出, 高于四阶的系数均趋近于零. 有鉴于此, 本文所分析的碗类最佳拟合阶次定为四阶, 阶次过高或过低, 都会导致拟合曲线与实际边缘偏差较大, 不利于对拟合曲线的进一步处理以及获取准确的特征信息. 典型样品的器型结构数字化特征提取过程见图 3, 曲线拟合结果见表 1.

4　分析讨论

以往学者在进行古陶瓷器型定量分析时, 一般采用口径、足径、通高等直观测量的尺寸参数进行分析研究. 本文也测量了湖田窑出土不同时期撇口碗的口径和

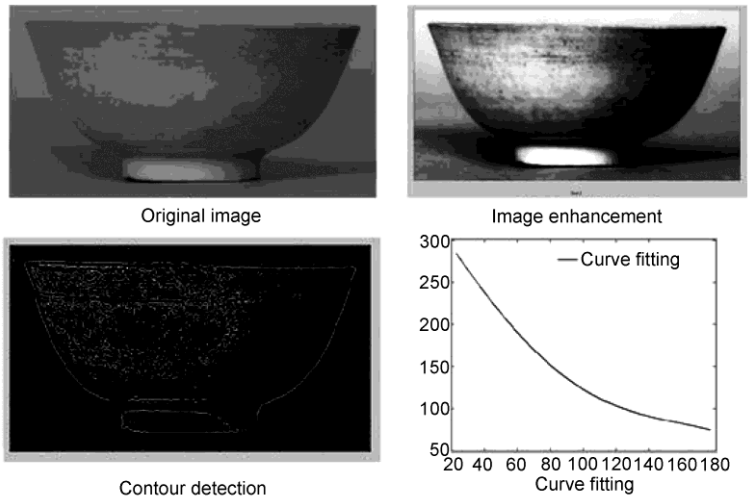

图 3　研究样本(Htw11)器型结构特征提取过程

表 1　曲线各阶次拟合后多项式系数

	X_4	X_3	X_2	X_1	X_0
Htw01	-2.24×10^{-6}	0.001	−0.041	−0.282	140.032
Htw02	-6.27×10^{-6}	0.001	−0.043	−0.801	102.028
Htw03	-2.99×10^{-6}	0.001	−0.057	0.206	140.296
Htw04	-3.92×10^{-6}	0.001	−0.070	0.453	146.806
Htw05	-8.29×10^{-8}	3.430×10^{-5}	−0.004	−0.660	196.033
Htw06	-1.32×10^{-6}	0.000	0.011	−3.571	229.085
Htw07	-7.10×10^{-6}	0.002	−0.221	6.932	127.585
Htw08	1.06×10^{-7}	0.000	0.036	−4.064	231.048
Htw09	-5.34×10^{-6}	0.002	−0.152	4.396	100.131
Htw10	2.87×10^{-7}	0.000	0.014	−1.732	150.996
Htw11	-2.63×10^{-7}	7.32×10^{-5}	0.005	−3.293	353.875
Htw12	-2.57×10^{-6}	0.001	−0.061	−0.042	166.252
Htw13	-4.95×10^{-6}	0.001	−0.112	1.949	116.733
Htw14	-1.69×10^{-5}	0.004	−0.256	4.586	116.024
Htw15	-1.36×10^{-5}	0.004	−0.310	8.959	35.536
Htw16	-9.30×10^{-6}	0.003	−0.243	7.330	54.761
Htw17	2.47×10^{-9}	5.41×10^{-6}	−0.002	−1.006	336.841

高度等数据(见表2), 并做散点图(见图4). 从图4中可以看出, 五代、宋代和元代湖田窑撇口碗口径皆在 12~20 cm 之间, 高度基本在 5~8 cm 之间, 不同时期的撇口碗尺寸差别不大, 因而难以从散点图中发现撇口碗的时代特征. 这也在一定程度上反映了采用简单尺寸数据进行古陶瓷类文物器型定量化分析的缺陷所在.

而基于 Matlab 数字图像处理进行古陶瓷图像器型轮廓提取, 得到其器型曲线函数, 包含了丰富的古陶瓷器型特征的潜信息. 同时, 器型曲线函数易于进行各种数学处理, 为进一步深入研究提供了便利条件. 对于撇口碗来说, 外撇的口沿是其重要特征之一, 因此本文利用拟合得到的器型轮廓曲线计算各时期湖田窑撇口碗口沿处的斜率, 以表征其口沿外撇的程度. 此外, 曲率是曲线上某点的切线方向角对弧长的转动率, 是曲线在某一点弯曲程度的数值; 拐点作为曲线函数二阶导数为零, 且三阶导数不为零的点, 反映了曲线凹凸性或弯曲方向的改变, 同样可作为表征撇口碗的重要特征. 因此, 根据拟合出的函数计算各时期湖田窑撇口碗口沿处斜率、拐点数以及轮廓曲线曲率最大值等参数, 结果见表 2.

表 2　撇口碗样品的尺寸数据以及由器型轮廓曲线计算所得的特征参数

Sample code	Mouth diameter (cm)	Height (cm)	Slope at the mouth	Maximal curvature (cm^{-1})	Number of inflection points
Htw01	18.6	6.8	−1.435	0.013	2
Htw02	12.6	4.5	−1.730	0.016	2
Htw03	17.0	6.5	−1.589	0.012	2
Htw04	17.0	7.0	−1.998	0.010	2
Htw05	20.3	5.6	−1.982	0.012	2
Htw06	16.0	8.5	−0.921	0.012	1
Htw07	11.9	6.8	−0.718	0.033	1
Htw08	10.6	5.2	−0.677	0.008	1
Htw09	14.8	6.8	−0.692	0.029	1
Htw10	20.0	7.0	−0.586	0.009	1
Htw11	10.3	4.7	−0.985	0.011	1
Htw12	19.4	7.0	−0.805	0.036	2
Htw13	17.3	6.2	−1.096	0.039	2
Htw14	17.4	6.8	−1.063	0.059	2
Htw15	19.8	8.2	−1.171	0.154	2
Htw16	15.0	6.4	−0.989	0.190	2
Htw17	18.1	8.3	−0.909	0.056	2

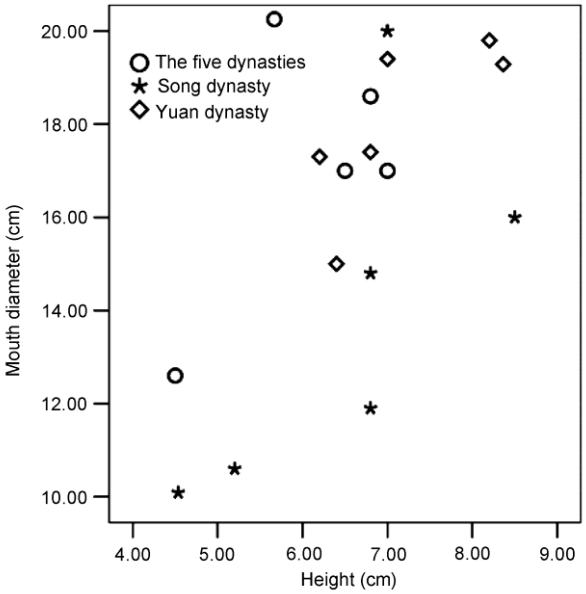

图 4　湖田窑出土不同时期撇口碗口径和高度的散点图

从表 2 可以看出, 所分析的五代和元代湖田窑撇口碗样品的器型轮廓曲线拐点皆为 2 个, 而宋代撇口碗样品器型轮廓曲线的拐点仅有 1 个. 这意味着五代和元代湖田窑撇口碗样品的轮廓曲线凹凸性改变了 2 次, 宋代撇口碗样品器型轮廓曲线的凹凸性仅改变一次, 在一定程度上说明宋代撇口碗的造型相对简单. 另一方面, 也说明轮廓曲线的拐点数目可作为判别湖田窑撇口碗时代的重要特征之一.

利用不同时期湖田窑撇口碗样品轮廓曲线曲率的最大值以及口沿处斜率做箱式图, 见图 5 和图 6. 从图 5 可以看出, 不同时期撇口碗口沿处的斜率差异较大, 五代时期湖田窑撇口碗口沿处的斜率在−1.75 左右, 宋代湖田窑撇口碗口沿处的斜率大幅升高, 基本在−0.75 左右, 而元代湖田窑撇口碗口沿处的斜率又下降至−1 左右. 撇口碗口沿处的斜率代表其口沿外撇的程度, 湖田窑撇口碗样品口沿外撇程度随时代变迁先增大后减小, 可能与先民审美情趣及生活习惯的变化有关. 由表 2 和图 6 可以看出, 五代和宋代湖田窑撇口碗样品轮廓曲线曲率最大值基本介于 0.01 至 0.03 cm^{-1} 之间, 说明其曲率半径较大, 在 33 cm 以上. 而元代湖田窑撇口碗样品轮廓曲线曲率最大值明显增大, 甚至高达 0.19 cm^{-1}, 即其曲率半径仅为 5.3 cm, 弯曲程度较高. 湖田窑撇口碗样品轮廓曲线曲率的最

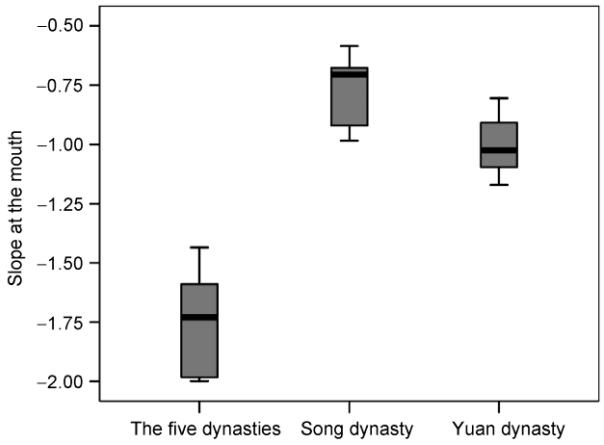

图 5　不同时期湖田窑撇口碗样品口沿处斜率的箱式图

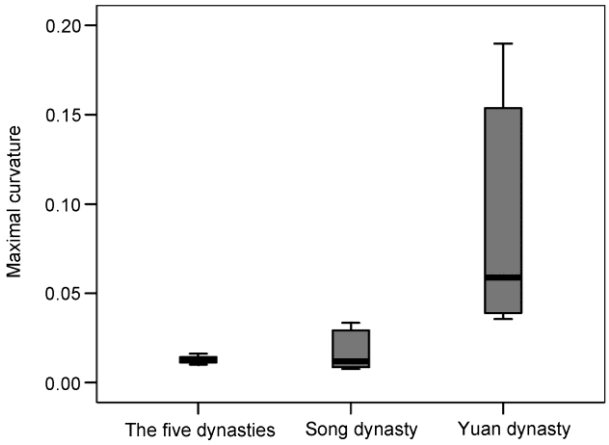

图 6　不同时期湖田窑撇口碗样品轮廓曲线曲率最大值的箱式图

大值以及口沿处斜率同样具有明显的时代特征, 可作为湖田窑撇口碗断代的依据, 也基本反映出了湖田窑撇口碗基本遵循了由宋代的秀丽有余而稳重不足直至元代的深厚健美[14]的演变过程.

5　结论

以具有代表性的我国五代、宋、元时期景德镇湖田窑所产撇口碗为例, 利用Matlab等数学软件, 提取了样本综合性的数字化器型结构特征. 结果表明: 1) 古陶瓷器物的器型结构特征除了器物口径、足径、通高等较为简单的尺寸数据外, 通过图像增强、边缘检测、曲线拟合等一系列数字化处理所得到的器型轮廓特征曲线, 作为当时社会审美情趣、陶瓷工艺制作水平和特征的一个重要体现, 更蕴

含了丰富的时空信息, 可以作为古陶瓷科技鉴定的重要参数; 2)在古陶瓷器型结构数字化过程中, Matlab 软件是一种行之有效的处理办法, 有助于把古陶瓷类文物传统鉴定模式中的感官信息和经验进行更为有效的定量化和系统化, 有助于古陶瓷类文物鉴定经验数据的积累和传承, 提高古陶瓷类文物综合鉴定的准确性及可靠性; 3)通过器型轮廓曲线计算出的不同时期我国景德镇湖田窑撇口碗类器物, 其口沿处斜率、曲线曲率最大值、曲线拐点数目等特征参数可作为断代分期的关键性指标, 解决了其普通外观参数(口径、底径、通高等)所无法解决的断代分期问题.

参考文献

1 王维达, 夏君定, 周智新, 等. 热释光前剂量饱和指数法测定中国古瓷器年代. 中国科学 E 辑: 技术科学, 2006, 36(5): 525–540

2 吴隽. 古陶瓷科技研究与鉴定. 北京: 科学出版社, 2009. 138

3 吴隽, 李家治, 邓泽群, 等. 中国景德镇历代官窑青花瓷的断代研究. 中国科学 E 辑: 技术科学, 2004, 36(5): 516–524

4 陈铁梅, 何努. 计算机技术对河南省二里头二期至人民公园期陶豆分类的尝试. 见: 考古学文化论集. 北京: 文物出版社, 1989. 340–345

5 杨永善. 陶瓷造型艺术. 北京: 高等教育出版社, 2004

6 刘歆益, 朱剑, 严艳. 统计分析在商代陶鬲研究中的应用. 南方文物, 2007, (3): 67–72

7 罗宏杰, 杨云, 王芬, 等. 不同历史时期耀州窑碗器型结构特征之研究. 中国陶瓷工业, 2003, 10(6): 1–4

8 刘新园, 白焜. 景德镇湖田窑考察纪要. 文物, 1980, (11): 39–49

9 江西省文物考古研究所, 景德镇民窑博物馆. 景德镇湖田窑址. 北京: 文物出版社, 2007

10 Gonzalez R C, Woods R E, 著. 阮秋琦, 阮宇智, 等译. 数字图像处理. 北京: 电子工业出版社, 2005

11 马洪藻. 考古器物绘图. 北京: 北京大学出版社, 2008. 1–25

12 霍宏涛. 数字图像处理. 北京: 北京理工大学出版社, 2006. 79–98

13 Dong J X. Research and application of chi square goodness of fit test in the equal probabilistic test of random sequence. In: 2010 Second ETP/IITA World Congress in Applied Computing, Computer Science, and Computer Engineering (ACC 2010), 2010. 490–493

14 刘新园. 景德镇湖田窑各期典型碗类的造型特征及其成因考. 北京: 文物出版社, 1980. 50–60