

安阳殷墟出土陶水管的工艺与技术研究

李清临

(湖北 武汉 430072)

摘要 采用 X 射线荧光、热膨胀等分析手段,对比研究了安阳殷墟遗址出土的陶水管及普通陶器的制作工艺。分析结果显示,陶水管具有明显不同于普通陶器的化学组成、更高的烧成温度和更好的物理性能,据此推测安阳殷墟遗址出土的陶水管在原料选择上更为精细,在烧制工艺上也更先进,从而得以满足陶水管作为地下排水设施的高性能要求。

关键词 安阳殷墟;陶水管;制作工艺

中图分类号:K876.3

文献标识码:A

文章编号:1001-0327(2011)02-0103-05

河南安阳殷墟出土的地下排水设施--陶水管,大都发现于房屋建筑遗址中,其形状既有内径一致的圆筒形,也有两端粗细不一的喇叭形,此外还发现有三通形的陶水管,很像现代引水设施中的“三通管”,前者与后者用途也相同,同样是作纵横改道使用的^[1]。殷墟出土的这些质地精良设计巧妙的陶水管,充分说明了当时陶工的聪明才智和卓越成就。然而迄今为止关于安阳殷墟出土陶水管的制作工艺的研究还很不充分,尤其是对其技术性能以及原料选择的研究尚未见到,而这些研究无疑将为揭示我国早期建筑的科学技术成就有着重要意义。本研究即采用 X 射线荧光法、热膨胀法等分析手段,对采自安阳殷墟遗址的陶水管标本进行了化学组成、烧成温度、物理性能等的分析,对其制作工艺与科技内涵予以探讨。

一、样品测试

1. 样品情况

实验样品均由河南省安阳殷墟博物馆提供。陶水管样品共 13 片。此外,还取了 8 件陶器残片以作对比研究。陶水管和陶器样品的出土单位、样品编号等基本情况见表一。

2. 样品前处理

先用清水洗去样品表面的附着物,然后置于超声仪中先后用酒精和去离子水清洗。清洗完毕后,将样品取出烘干,研磨成粉末状,准备做成分分析。另任取陶水管和陶片样品各两个,磨成 35×5×5mm 的长条状,准备作烧成温度测试。

3. 样品测试

样品的化学组成分析工作在中国文化遗产研究院完成,所用仪器为日本岛津(SHIMADZU)公司产的 X-射线荧光光谱仪。测试结果见表一。

样品的密度与孔隙度的测定在中国科技大学完成,结果见表一。

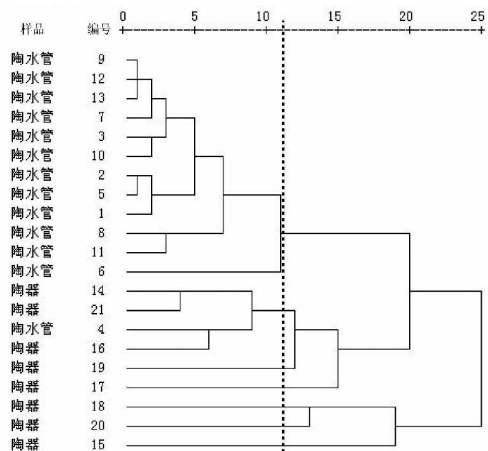
烧成温度测定在中国科学院研究生院科技史与科技考古系完成,所用仪器为德国 Netzsch 公司生产的 DIL 402C 型热膨胀仪,测试工作利用仪器配套软件 Netzsch Proteus-Thermal analysis 作数据处理,逐一绘出它们的烧成温曲线。

二、结果分析

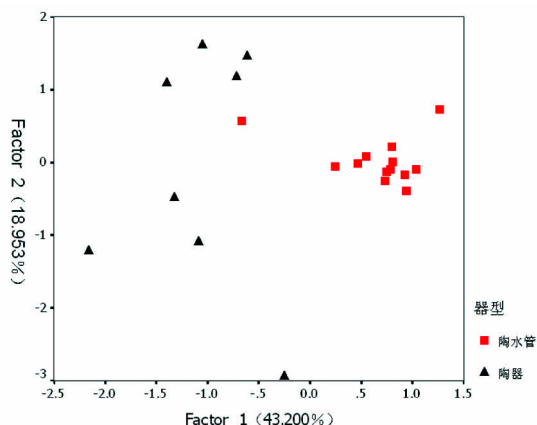
1. 化学组成分析

收稿日期:2008-02-10

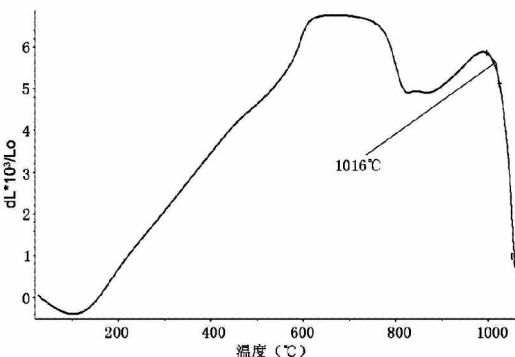
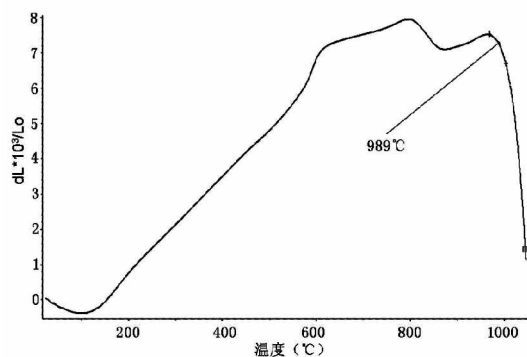
作者简介:李清临(1976-),男,山东临清人,武汉大学历史学院副教授。



图一 陶水管和陶器样品化学成分聚类分析树形图



图二 陶水管和陶器样品化学成分因子分析散点图



图三 陶水管样品的热膨胀测试曲线图

利用社会科学专用多元统计软件 SPSS，对所有陶水管和陶器样品的化学成分数据做聚类分析和因子分析，结果见图一、图二。

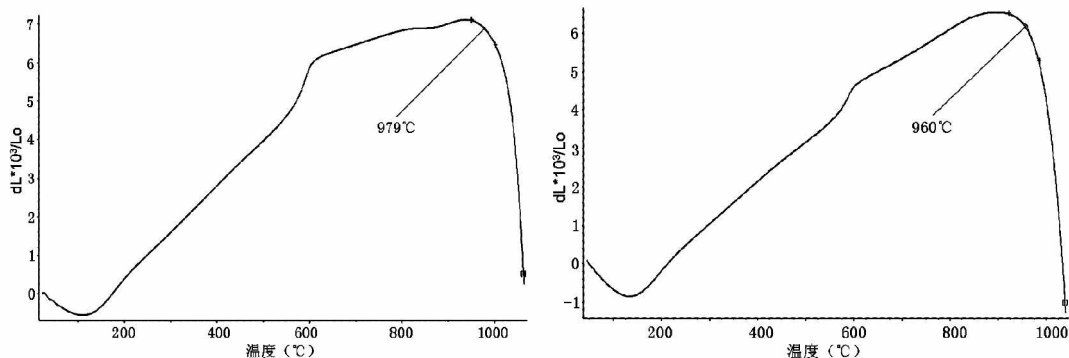
如聚类分析树形图所示，在阈值 λ 约为 12 时，即图一中虚线所示处，所有样品可以分为几个不同的类别。其中，13 个陶水管中的 12 个聚为一类，且相互之间的距离要远小于其它各类样品间的距离；而 8 个陶器样品则与另一个陶水管样品总共聚成了六类，且相互间的距离大小不一。如图二所示，因子分析散点图显示了同样的分布态势，陶水管分布相对集中，处于一个相对较小的范围之内，而陶器样品则较为分散，分布在一个较大的区域中。聚类分析树形图和因子分析散点图所显示的这种情

况，表明陶水管具有不同于陶器的原料来源，并且陶水管的原料来源地更为集中，而陶器的原料来源则更为多样化。

2. 烧成温度分析

在所有样品中随机选取两个陶水管样品 04ASTSG2 和 04ASTSG11，以及两个陶器样品 04ASTP15 和 04ASTP20，做烧成温度测定。因样品系随机选取，故虽然数量较少，仍具有相当的代表性。结果见图三、图四。

如图三所示，热膨胀测试曲线表明，两个陶水管样品 04ASTSG2（图三中之左小图）和 04ASTSG11（图三中之右小图）的烧成温度分别为 989 与 1016，平均值为 1002.5。而如图四所示，两个陶器样品 04ASTP15（图四中



图四 陶器样品的热膨胀测试曲线图

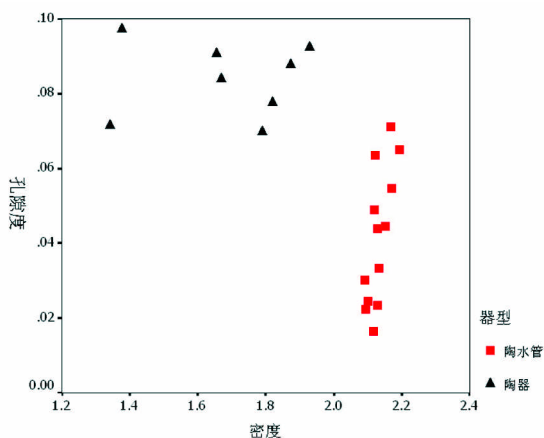
之左小图)和 04ASTP20(图四中之右小图)的烧成温度则分别为 979 与 960 ,均值为 969.5 ,低于陶水管的烧成温度。而从热膨胀曲线中可以看出,相对于陶器样品而言,两个陶水管样品的热膨胀曲线在 750 ~1000 之间收缩的比较厉害,这种现象应当是这两个样品中玻璃化程度较大所造成的,而这也从另一方面说明了陶水管的烧结程度要好于陶器。

3.物理性质分析

以各样品的密度为横坐标,孔隙度为纵坐标,做散点图,以比较陶水管和陶器样品的物理性质之差异,见图五。从图中可以看出,陶水管与陶器明显地分处两个区域,彼此间毫无混杂。并且相比之下,陶水管的密度均高于陶

器,而孔隙率则基本上均小于陶器,说明陶水管的烧结程度明显要高于陶器,这与烧成温度的分析结果正好相符合。

烧成温度、密度和孔隙度的高低,反映了陶制品的工艺技术性能之优劣。以上陶水管的烧成温度和密度均大于普通陶器的,而孔隙度小于陶器的,说明陶水管的工艺技术性能要优于普通陶器。造成这种现象的内在原因,可从样品的化学成分和烧成温度数据中找到答案。从表一中可以看出,陶水管的 CaO、MgO、K₂O、Na₂O、P₂O₅ 等成分的含量均高于陶器,尤其是 CaO、MgO、K₂O 的含量明显更高;同时,陶水管的 Al₂O₃ 含量则明显低于陶器的。至于其余的 SiO₂、Fe₂O₃、TiO₂、MnO 等成分,陶水管与陶器基本相同。众所周知,在陶瓷器中,Al₂O₃ 通过高温化学反应,一部分形成骨架,另一部分则与助熔剂化合物形成玻璃相填充于骨架之间。Al₂O₃ 的相对含量之高低与陶瓷的烧成温度密切相关,相对含量高则烧成温度高,相对含量低则烧成温度低。而 CaO、MgO、K₂O、Na₂O、P₂O₅ 等成分称为助熔剂氧化物,其作用在于降低陶瓷胎釉的烧成温度。因此,当陶水管的 Al₂O₃ 含量较低而 CaO、MgO、K₂O、Na₂O、P₂O₅ 等含量较高,就会使陶水管的烧结温度低于普通陶器,那么在相同的温度下,陶水管的烧结程度就会好于陶器。而前已叙及,陶水管的烧成温度高于陶器。因此,在更为合适的化学组成和更高的烧成温度这两种因素的共同



图五 陶水管和陶器样品物理性质散点图

作用下,陶水管的玻璃化程度就会更大,烧结程度明显好于陶器,从而表现出较大的密度和较低的孔隙度,而这些也同时解释了为何两个陶水管样品的热膨胀曲线在750~1000之间收缩的比较厉害的现象。

三、结论

安阳殷墟出土的陶水管具有与普通陶器明显不同的化学组成特点,而从烧成温度、密度和孔隙度等方面的数据来看,作为陶制品而言,陶水管的工艺技术性能也明显优于陶器。显而易见,作为大型宫殿建筑的地下排水设施,陶水管需要具备比普通陶器更好的防渗水、承压等性能,因而在原料的选择与制作工艺上应当具备特殊性。据此推测,殷墟文化时期的制陶工匠应该已经意识到了陶水管所应具备的各种性能,因而有意识地在陶水管的原料选择和制作工艺上均做到比普通陶器更为精细,以使陶水管具有更好的性能。在原料选择方面,制陶工匠可能利用了某种特殊来源的

粘土来制作陶水管,或者对普通粘土原料进行了某种处理后再来制作,因而陶水管表现出不同于普通陶器的化学组成特点,且其化学组成数据相对而言也较为集中。而普通陶器由于并不需要如陶水管那样高的性能,故对其原料的要求不高,原料来源较广,处理也不如陶水管那般精细,在化学组成上就表现出既不同于陶水管而又较为分散的特点。在烧制工艺上,陶水管与普通陶器有可能于不同的陶窑内烧成,烧制陶水管的陶窑可能添加了更多的燃料,因此窑内温度更高;或者两者虽然利用相同的陶窑烧成,但制陶工匠可能将陶水管置于窑内温度更高的部位,因此陶水管的烧成温度也就更高,其烧结程度也就高于普通陶器。原料选择和烧制工艺的特殊性,使得殷墟陶水管具有比普通陶器更好的物理性能,得以作为排水设施在大型建筑的地下应用。

注释:

[1] 陈文平《中国古陶瓷》,上海书店出版社,2002年。

A Study on the Producing Technics of "Ceramic Water Pipes" from Yinxu Site

Li Qinglin

(Wuhan, Hubei 430072)

Abstract: Using the technology of XRF, DIL, etc, some comparative tests on the technics of "ceramic water pipes" and ordinary potteries excavated from Yinxu Site of the Shang Dynasty were conducted. The results show that ceramic water pipes have different ingredient, higher firing temperature and better quality, so it is concluded that the choice of minerals and producing technics of ceramic water pipes are better than those of ordinary potteries.

Keywords: Yinxu Site, ceramic water pipes, producing technics

(责任编辑、校对:陈丽新)

表一

实验样品分析数据表

样品编号	房址号	探方号	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	MnO	P ₂ O ₅	密度	孔隙度
04ASTSG1	F23	T1317	67.74	15.02	6.63	0.9	3	2.29	3.26	0.48	0.12	0.44	2.129	0.023
04ASTSG2	F23	T1317	67.79	15.11	6.73	0.95	2.46	2.48	3.12	0.6	0.12	0.39	2.128	0.044
04ASTSG3	F23	T1317	68	14.86	6.87	0.86	2.5	2.14	3.27	0.52	0.1	0.79	2.168	0.071
04ASTSG4	F23	T1317	68.17	16.35	6.37	0.91	2.09	1.52	3.66	0.28	0.11	0.45	2.118	0.016
04ASTSG5	F23	T1317	67.43	15.47	6.39	0.95	2.66	2.48	3.25	0.57	0.11	0.45	2.091	0.03
04ASTSG6	F34	T1615	68.81	15.1	6.4	0.9	2.02	2.18	3.44	0.51	0.14	0.41	2.151	0.045
04ASTSG7	F34	T1615	67.66	15.01	6.57	0.96	2.62	2.4	3.27	0.49	0.11	0.77	2.102	0.024
04ASTSG8	F34	T1615	66.71	15.05	6.38	0.9	4.21	2.11	3.11	0.46	0.12	0.7	2.193	0.065
04ASTSG9	F34	T1615	67.35	15.14	6.82	0.93	2.73	2.17	3.37	0.52	0.09	0.8	2.121	0.063
04ASTSG10	F34	T1615	67.41	14.81	6.67	0.86	3.35	2.28	3.17	0.52	0.1	0.71	2.095	0.022
04ASTSG11	F34	T1615	66.2	15.13	6.94	0.91	3.87	2.17	3.32	0.51	0.13	0.78	2.171	0.055
04ASTSG12	F34	T1615	67.5	14.95	6.6	0.9	2.85	2.26	3.31	0.49	0.1	0.82	2.134	0.033
04ASTSG13	F34	T1615	67	14.97	6.64	0.94	3.34	2.23	3.29	0.5	0.09	0.83	2.119	0.049
			67.52	15.15	6.62	0.91	2.9	2.21	3.30	0.50	0.11	0.64	2.13	0.04
			均值											
04ASTP14	F23	F23	67.6	17.42	7.04	0.83	1.7	1.6	3.04	0.27	0.12	0.26	1.82	0.078
04ASTP15	F23	T1617	69.81	17.1	6	0.84	1.7	0.9	2.96	0.3	0.09	0.17	1.928	0.092
04ASTP16	F23	T1617	68.59	17.05	6.06	0.88	2	1.5	3.12	0.23	0.11	0.4	1.67	0.084
04ASTP17	F34	T1615	66.62	17.37	7.41	0.85	2	1.8	3.14	0.34	0.06	0.25	1.341	0.071
04ASTP18	F34	T1615	67.43	17.43	6.14	0.85	2.7	1.5	2.7	0.31	0.07	0.75	1.873	0.088
04ASTP19	F34	T1615	67.03	16.89	6.78	0.78	2.1	1.6	3.53	0.36	0.11	0.72	1.654	0.091
04ASTP20	F34	T1615	69.28	15.52	5.36	0.87	2.9	1.9	2.68	0.47	0.1	0.77	1.376	0.097
04ASTP21	F34	T1615	66.97	17.21	7.12	0.91	1.9	1.8	3.18	0.31	0.13	0.38	1.79	0.07
			67.92	17	6.49	0.86	2.13	1.58	3.04	0.32	0.10	0.46	1.68	0.08
			均值											
			陶水管											
			陶片											