

广东博罗先秦硬陶的 XRF 和 INAA 研究

王建平¹, 陈铁梅², 程玉冰¹

(1. 中国国家博物馆文物科技保护中心, 北京 100006; 2. 北京大学考古文博学院, 北京 100871)

摘要: 为揭示广东博罗梅花墩、银岗、横岭山三地古陶器的产源、烧造工艺、技术传播和文化交流等方面情况, 用波长色散 X 射线荧光分析(WDXRF)、仪器中子活化分析(INAA)同时测量了广东博罗梅花墩、银岗、横岭山等三地点所出 38 片西周至春秋、战国硬陶中 Al、Ba 等元素的含量。并用主成分分析分别处理了测量数据。两套数据的分析结果均表明, 梅花墩、银岗和横岭山的硬陶原料互不相同, 各地点硬陶可能主要是“自烧自用”。数据分析还表明在南方各省区中, 广东硬陶具有 Al₂O₃ 含量偏高这一明显的地区特征。

关键词: 广东博罗先秦硬陶; WDXRF; INAA; 主成分分析; 古陶瓷产地溯源研究

中图分类号: G262.0657.34 **文献标识码:** A

1 前言

广东博罗梅花墩窑址、银岗窑场和横岭山先秦墓地是岭南地区近年发掘的三处重要的先秦时期的考古遗存, 其地层关系和考古分期研究基本上确立了广东先秦考古文化的编年体系。梅花墩是一个龙窑窑址, 时代属春秋时期^[1]。银岗是一大型的制陶作坊遗址, 其年代分两期: 一期为西周至春秋, 二期为战国^[2,3]。横岭山基本上是春秋时期的墓葬遗址, 至今尚没有窑址发现^[4]。三地点间距离较近且大体上呈直线排列, 其中前二者之间距离 22 公里, 后二者之间 13 公里, 横岭山到梅花墩 35 公里。三地点出土了大量西周至春秋、战国时期的印纹硬陶、软陶、釉陶和原始瓷样品, 对其做成分研究有助于揭示三地陶瓷的产源、烧造工艺、技术传播和文化交流等方面的情况。本研究工作只涉及硬陶。因为先秦时期在包括广东在内的我国南方地区的几何印纹陶文化区中, 印纹硬陶是其最主要的陶瓷品种。在上述三处遗址中, 硬陶一般占陶瓷器总数的 60% 以上, 所以硬陶的制作基本上代表了当时南方各地陶瓷生产的工艺水平和文化特征。

2 样品准备和实验测量

对梅花墩、银岗和横岭山等三地点同为西周至春秋时期的硬陶样品做化学成分分析有可能揭示出

它们是否有共同的原料、产地和烧造工艺等。表 1 给出本研究的梅花墩、银岗(两期)和横岭山样品的出土地点、代号、时代和数量。

表 1 广东博罗梅花墩、银岗(两期)和横岭山先秦硬陶样品表

Table 1 Provenance and age of hard pottery samples of Boluo county, Guangdong province

地点(考古分期)	代号	时代	数量/件
梅花墩	M	春秋	10
银岗一期	Y-1	西周至春秋	6
银岗二期	Y-2	战国	5
横岭山	H	春秋	17
总计			38

上述硬陶的成分测量分别用波长色散 X 荧光分析(WDXRF)和仪器中子活化分析(INAA)两种方法。WDXRF 主要测量样品中的主次量元素, 采用玻璃熔片法制备样品^[5], 在飞利浦公司 PW2400 型 X 射线荧光光谱分析仪上测量, 并使用经验参数法。为了建立各元素的标准工作曲线, 使用了 13 个陶瓷专用标准样品, 它们由中国科学院上海硅酸盐研究所根据陶瓷的化学组成用国家岩石和土壤标准样品配制。INAA 则主要用于分析样品成分中的微量元素和部分主次量元素, 由中国原子能科学研究院测量, 测量中用 4 个国家岩石和土壤标准样(GSR01、GSS01、GSS03 和 GSS04)作为质控样品来观察测量的精确度。

收稿日期: 2004-04-30; 修回日期: 2004-09-21

作者简介: 王建平(1968-), 男, 2002 年毕业于北京大学, 考古学及博物馆学专业, 博士, 现为中国国家博物馆文物科技保护中心馆员, 北京 100006, E-mail: wangjpp@tom.com

博罗三地点样品的 WDXRF 测量数据如表 2 所示。对于 WDXRF 数据,其较高的测量精确度由测量结果的良好重复性和 13 个标样的自洽性检验所保证。自洽性检验是用所建立的各元素标准工作曲线反测每个玻璃熔片标样的成分数据。测量值与标

称值之间的相对误差: Si、Al 和 K 为 1%, Fe、Ca 为 2%, Na、Mg、Mn、Ti 和 P 小于 4%, Rb、Sr、Zr、V 低于 8%, 其它元素除 Cu 和 As 外也低于 15%^[3]。这里前 10 个元素是陶瓷的主次量元素,它们决定了陶瓷的性质、原材料种类和烧结温度等。在上述样品的

表 2 广东博罗先秦硬陶的 WDXRF 数据

Table 2 The WDXRF data of pre-Qin hard pottery sherds from three sites of Boluo County, Guangdong Province ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)

样品 号	代号	Al ₂ O ₃ / $\times 10^4$	Ba	CaO / $\times 10^4$	Cr	Fe ₂ O ₃ / $\times 10^4$	K ₂ O / $\times 10^4$	MgO / $\times 10^4$	Mn	Na ₂ O / $\times 10^4$	P	Rb	SiO ₂ / $\times 10^4$	TiO ₂ / $\times 10^4$	V	Zn	Zr
B3	M	20.388	313	0.130	68.7	5.563	1.689	0.40	177.8	0.077	472.7	124.5	65.237	0.946	92.4	57.8	409.6
B6	M	24.435	262.2	0.131	77.7	2.918	1.677	0.451	129.1	0.089	172.6	119.9	65.295	1.014	113.3	75.5	388.1
B8	M	23.08	348.5	0.159	69.1	3.608	1.791	0.459	150.6	0.099	152.8	127.1	65.560	1.017	109.7	100.7	399.1
B9	M	23.693	236.9	0.152	106	4.329	1.199	0.395	201.6	0.091	185.9	91.6	64.434	1.348	112.7	75	420.1
B11	M	24.744	363.9	0.169	77.2	2.617	1.623	0.464	166.1	0.103	187	133.6	64.645	1.346	116.1	44.5	353.4
B12	M	23.431	362.5	0.157	71.1	4.177	1.786	0.454	168.5	0.115	172.6	125.3	64.827	1.041	111.1	82.4	393.3
B16	M	23.770	309.1	0.147	115.5	4.074	1.688	0.434	143.4	0.131	242.5	117.8	63.701	1.068	101	88	376
B20	M	25.185	337.4	0.160	75.9	5.535	2.077	0.453	220.8	0.089	244.9	160.9	60.749	1.027	98.8	41.4	318
B22	M	23.009	338	0.162	75.1	5.427	1.890	0.480	159.5	0.097	148.3	131.5	61.506	1.026	94.4	80.4	357.6
B23	M	26.023	201.1	0.135	99.7	4.202	1.269	0.425	154.3	0.078	168.2	95.7	62.111	1.091	121.3	75.5	395.9
B24	Y-1	18.342	301.7	0.161	70.7	5.718	1.170	0.421	96.5	0.097	2637.5	84.5	67.410	0.962	92.5	49.1	440.6
B25	Y-1	24.707	372.7	0.157	54.1	3.383	1.774	0.400	194.5	0.114	632	145.1	64.304	1.006	84	96.4	331.1
B26	Y-1	24.659	365.2	0.201	57.5	5.079	1.583	0.426	155.9	0.182	1219.8	121.2	61.768	1.019	103.9	59	335.2
B27	Y-1	24.682	304.8	0.192	67.1	5.643	2.06	0.516	140.9	0.119	265.4	142.5	60.430	1.046	112.3	79.1	288.8
B28	Y-1	28.199	392.1	0.172	61.1	4.557	1.793	0.449	201.2	0.102	1425.1	151.4	58.737	1.091	111.4	107.8	290.2
B29	Y-1	24.207	422.6	0.145	73.3	4.306	2.313	0.609	219.2	0.10	240.7	161.9	62.732	0.941	108.5	84.5	265.1
B36	Y-2	24.160	411	0.170	75.2	4.69	2.170	0.552	117.9	0.10	242.2	146.7	62.617	1.068	118.6	48.6	310.4
B38	Y-2	23.484	358.1	0.199	75.2	4.665	2.187	0.504	116.3	0.106	339.7	147.6	63.367	1.019	109.4	53.2	285.9
B39	Y-2	26.670	573.9	0.214	89.3	3.763	3.036	0.738	147	0.214	358.9	203.9	60.801	0.961	109.6	143.4	258.9
B40	Y-2	26.408	420.9	0.132	72.9	5.407	2.277	0.493	191.7	0.098	242.9	171.4	59.260	1.069	113.5	83.2	313
B41	Y-2	26.685	411.1	0.142	78.2	3.489	1.871	0.454	150.1	0.069	1155.6	152.3	61.734	1.161	112.8	76.9	320.3
B54	H	26.125	150.5	0.129	54.8	5.294	1.202	0.387	138.1	0.067	189.7	75.6	60.308	1.113	78.4	48.9	398.2
B55	H	25.155	192	0.129	73	3.514	1.123	0.375	124.9	0.058	212.9	81.3	63.343	1.048	103.4	72.1	422.6
B56	H	28.102	279.9	0.154	84.3	5.588	1.761	0.494	176.4	0.073	214.2	122.5	57.993	1.089	122.2	68.5	329.5
B57	H	23.611	286	0.149	73	4.757	1.671	0.420	164.9	0.094	148.3	113.5	62.882	1.002	103.4	70.2	377.8
B58	H	25.063	243.5	0.144	73	4.429	1.607	0.437	151.5	0.089	239.8	108.8	62.544	1.063	103.4	57.5	390.9
B59	H	23.016	234.7	0.142	73	5.396	1.558	0.440	162	0.096	196.9	105.1	62.850	1.001	103.4	60.6	378.9
B60	H	26.118	204.7	0.129	75.7	7.222	1.046	0.432	138.3	0.065	198.5	69.1	56.142	1.196	101.5	71.5	421.1
B61	H	24.813	172.7	0.123	87.2	4.691	1.163	0.383	144.1	0.063	164.5	86.5	62.077	1.046	104.1	70.7	374.3
B62	H	24.465	289.3	0.154	62.2	7.123	1.725	0.429	173.9	0.068	182.6	114.9	59.005	0.916	78.7	74.4	337.8
B63	H	25.642	270	0.140	77.8	4.478	1.344	0.404	212.1	0.073	239.8	93.5	61.753	1.158	120.6	74.3	410.3
B64	H	27.269	252.3	0.152	98.2	5.180	1.678	0.472	261.4	0.084	176.2	117.9	59.009	1.138	122.3	59	344.3
B65	H	24.575	283.5	0.115	63	5.321	1.560	0.413	124.2	0.086	153	106.6	61.468	1.134	99.3	79.9	423.4
B66	H	25.843	119.1	0.113	72.4	4.532	0.571	0.321	215.6	0.047	211.3	48.5	62.256	1.293	87.5	74	426
B67	H	22.536	283.6	0.159	53.5	3.143	1.521	0.515	131.6	0.099	236.9	134.7	66.826	1.238	92	44.9	368.1
B68	H	25.941	190.9	0.141	83.1	4.778	1.332	0.345	123.8	0.086	193.2	93.2	61.03	1.131	105.5	82.2	371.7
B69	H	25.148	177.4	0.115	73	5.910	0.775	0.440	111.1	0.045	333.9	57.8	60.747	1.199	128.9	78	442.3
B70	H	23.966	258.2	0.106	63.6	3.455	1.41	0.369	118.3	0.086	163.6	107.2	66.294	1.078	102.8	88.9	428.8

实际测量中,大部分样品的 As、Cu、Ni 含量和全部样品的 Y、Sr、Pb 含量接近或低于系列标样的含量下限,故在数据处理中删除了这 6 个元素的数据。这样保留了 Al、Ba、Ca、Cr、Fe、K、Mg、Mn、Na、P、Rb、Si、Ti、V、Zn、Zr 等 16 个元素参与数据处理。

上述三地点样品的 INAA 测量数据见文献[6],文献中的硬陶样品号与本文相同。需要指出的是,文献[6]中的 B71 硬陶样品因样品量不足而无法做 WDXRF 测量,其 WDXRF 数据缺失。为了便于 INAA 和 WDXRF 数据的对比,本研究中将 B71 样品舍去不用。INAA 数据共测量元素 Al、Ba、Ce……等 31 个。但由于磨制陶瓷粉末测量样时 Co、Ta、W 等 3 元素被研钵污染,以及元素 As 一般以挥发性组分存在于陶瓷中,故将此 4 元素数据删除,这样保留的元素有 Al、Ba、Ce、Cr、Cs、Dy、Eu、Fe、Ga、Hf、K、La、Lu、Mn、Na、Nd、Rb、Sb、Sc、Sm、Tb、Th、Ti、U、V、Yb、Zn 等 27 个。通过观察 4 个质控样品的测量值可知,除个别样品的个别元素,因含量太低(接近检测限),测量误差较大外,对所测 30 多种元素中的多数,相对偏离值在 5% 或稍大,而对 Al、Fe 和某些稀土元素,相

对偏离值可达 3%^[5]。因此这批博罗样品 INAA 数据的测量准确度有保证。

在用 WDXRF 和 INAA 方法测量博罗三地点样品的化学组成中,两方法共测的元素有 11 个,它们分别是 Al、Ba、Cr、Fe、K、Mn、Na、Rb、Ti、V、Zn 等。对这 11 个元素的各种样品点,以多元素 INAA 数据对 WDXRF 数据做线性回归分析。分析表明,除 Cr、Zn 外,其它元素均通过显著性检验,拟合直线斜率接近一而截距接近零。图 1 为三地点 38 个硬陶样品中 Fe₂O₃ 含量的 INAA 对 WDXRF 值的线性回归图,图中斜线是各样品点(图 1 中符号为样品号)的线性拟合直线,其斜率为 1.03,截距为 -0.03,相关系数为 0.976,INAA 和 WDXRF 值具有良好的一比一的正相关关系。在玻璃熔片法制样(稀释比,陶瓷试样:四硼酸锂熔剂=1:5)的 WDXRF 测量中,Cr、Zn 的测量灵敏度有所降低。而对于多数博罗样,其 Cr、Zn 元素的含量均为(50-90)×10⁻⁶。Cr、Zn 的 WDXRF 与 INAA 含量相比有系统偏差,平均偏低约 9%。但总体上博罗样品主次量元素的 WDXRF 和 INAA 测量结果之间是可比的。

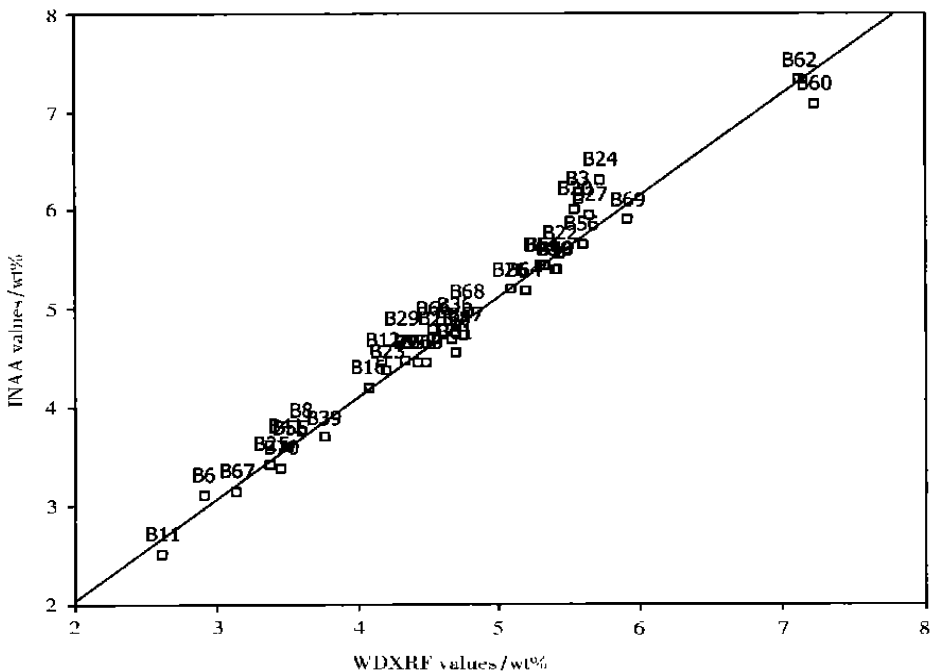


图 1 广东博罗 38 个硬陶样品所测 Fe₂O₃ 含量的 INAA 对 WDXRF 值的线性回归图

Fig. 1 Linear regression plot of INAA vs WDXRF values of Fe₂O₃ contents in 38 hard pottery sherds from Boluo, Guangdong province

3 数据处理和结果讨论

3.1 博罗三地硬陶产源的 XRF 和 INAA 对比研究

数据处理采用主成分分析(简称 PCA)方法^[7],并用散点图来表示分析结果。图标的含义如表 1

中所示,代号 M、Y-1、Y-2 和 H 分别代表梅花

墩、银岗一期、银岗二期和横岭山等遗址的样品和分期。

使用两套数据,即 WDXRF 和 INAA 数据。先用 WDXRF 数据对梅花墩、银岗和横岭山硬陶样品进行一下产地判别,看能否从成分数据的统计分析中将其区分开来。图 2(图 2 中数字为样品号,图 3 类同)为梅花墩、银岗(两期)和横岭山硬陶样品 WDXRF 数据

以第一主成分(简称 PC-1)和第二主成分(PC-2)为座标的散点图。在 PCA 分析时,元素 Cr、Fe 和 P 因样品“采样适宜度”(MSA)低而被舍弃。上述样品组 PCA 分析的 KMO 值为 72.7%,表示这组数据适宜于做 PCA 分析。PCA 分析中第一、二主成分分别能解释总方差的 62.8%(44.8%+18.0%),从而保留了大部分信息,因此 PCA 分析的结果应是有意义的。

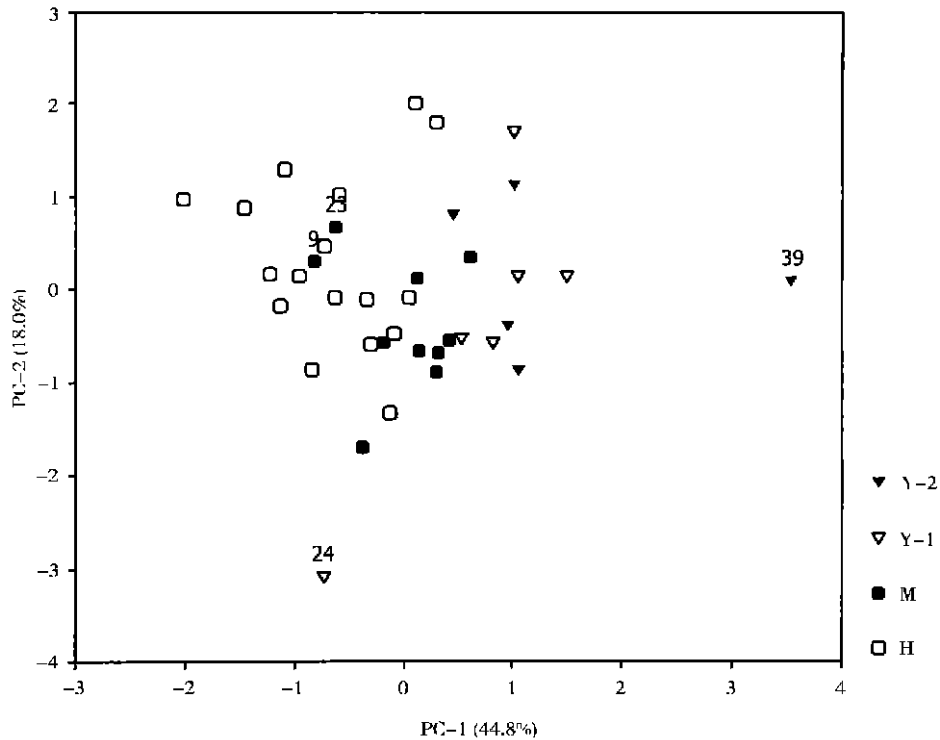


图 2 梅花墩、银岗(两期)和横岭山硬陶样品 WDXRF 数据的主成分散点图

Fig. 2 PCA plot of hard pottery samples from Meihuadun, Yingang(two periods) and Henglingshan sites by WDXRF data

从图 2 中看,银岗一期、二期样品区分不开,说明从西周至春秋到战国,该地先民烧制硬陶使用相同来源的原料。梅花墩、银岗(两期)和横岭山三地点硬陶样品基本上能独立分组。但梅花墩与银岗、横岭山样品区域有部分重叠。另外,有些样品组存在离散点,如梅花墩的 9 号样和 23 号样位于横岭山样品区,而银岗一期的 24 号样位于图的最下部,银岗二期的 39 号样位于图的最右部,均远离本样品区。但这并不影响我们的分组结论。由 PCA 分析的因子负载矩阵可知,元素 K(0.955)、Rb(0.937)、Ba(0.920)、Zr(-0.875)、Mg(0.857)等对第一主成分有较大的贡献(元素后括号内的数字是此元素含量对其主成分的负荷量,负号表示负贡献,以下类同),元素 Al(0.920)、Si(-0.801)等对第二主成分有较大的贡献。

再用 INAA 测量数据来证实。上述梅花墩、银岗(两期)和横岭山样品的分组结论图 3 为梅花墩、银岗(两期)和横岭山硬陶样品 INAA 数据以第一主成分(PC-1)和第二主成分(PC-2)为座标的散点图。舍去 MSA 低的 Cr、Ga、Mn、Sb、Ti、V 等 6 元素,PCA 分析的 KMO 值为 70.6%,第一、二主成分分别能解释总方差的 64.2%(40.5%+23.7%),因此此 PCA 分析的结果也是有意义的。

从图 3 中看,银岗一、二期样品区分不开,即他们使用相同的原料烧制硬陶。这同 WDXRF 数据的结论是一致的。梅花墩、银岗(两期)和横岭山硬陶样品也基本上相互分开而形成三组。同样,三分组有少部分区域重叠。图 3 中也有离散点存在,梅花墩 9 号样和 23 号样还是位于横岭山样品区,银岗的

24、39 号样和横岭山的 67 号样分别远离本样品组。由此 PCA 分析的因子负载矩阵知, Sm (0.969)、Ce (0.959)、Eu (0.917)、La (0.886)、Dy (0.884)、Nd (0.882) 等稀土元素对第一主成分有较大的贡献, 它

们的含量值之间存在较大的相关性; 元素 Rb (0.893)、K (0.887)、Cs (0.859)、Ba (0.792)、Na (0.768) 等第 I、II 族的元素对第二主成分有较大的贡献, 与 WDXRF 的情况相似。

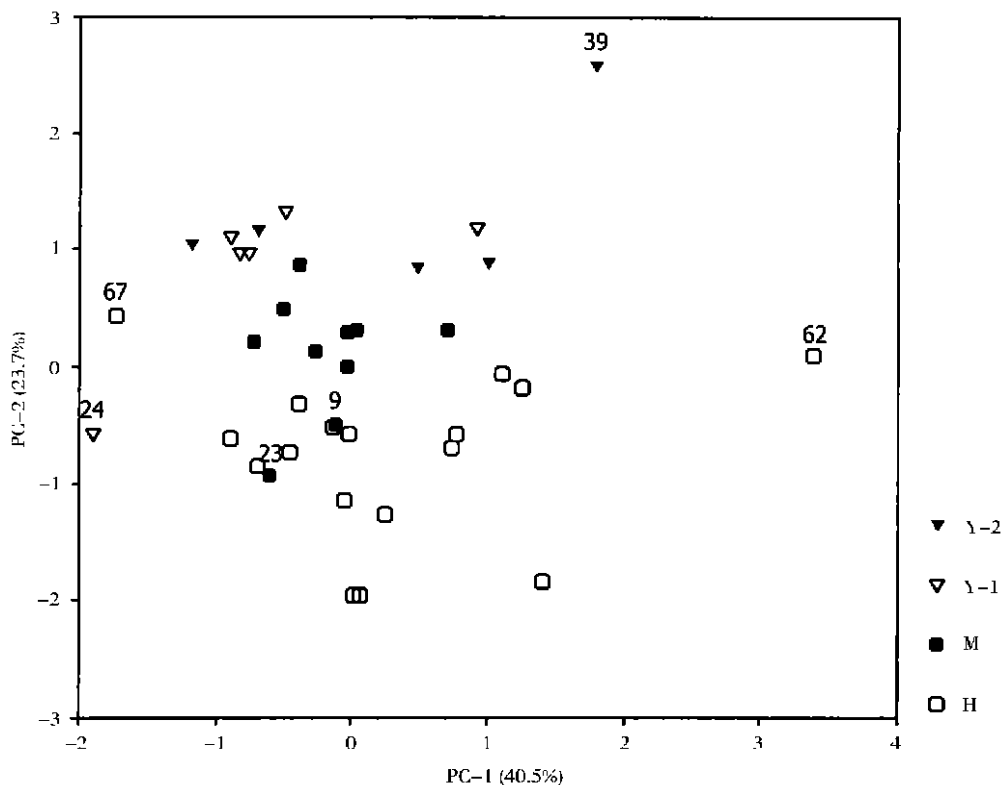


图 3 梅花墩、银岗(两期)和横岭山硬陶样品 INAA 数据的主成分散点图

Fig. 3 PCA plot of hard pottery samples from Meihuadun, Yingang (two periods) and Henglingshan sites by INAA data

上述 WDXRF 和 INAA 数据的 PCA 分析结果表明, 碱金属元素 K、Rb (Cs、Na) 和碱土金属元素 Ba (Mg) 在样品分组中起主导作用。两种测量方法所测的元素不同, 但却对所测样品给出了十分相似的分组结果。考虑到古代居民烧造陶瓷一般就地取材, 上述三地点硬陶的不同分组实质上代表了三地点陶土成分的差异。说明广东东江流域附近的古代居民烧造硬陶主要是“自烧自用”, 相邻地区间陶器成品的交换或交易也许不太普遍。因此我们认为文献 [1] 中提到的三地出土的外型和陶质“完全一样”的陶器, 应是技术传播和文化交流的结果, 而不是产品流通造成的。当然, 因为三遗址相距不远, 也不排除个别陶器制品的交流, 例如像 9 号和 23 号样品的情况。

3.2 广东博罗硬陶原料的地区特征

上面分析了博罗三地点硬陶原料的差异。下面将广东博罗三地点硬陶与我国南方其它地区出土的

印纹硬陶的化学成分作一比较。李家治曾计算并统计了自新石器晚期至战国时期全国各地 70 片硬陶的胎式(或称胎分子式)的分布范围^[8]。陶瓷胎分子式定义为 $aR_xO_y \cdot bAl_2O_3 \cdot cSiO_2$ 。式中, a 是熔剂氧化物 R_xO_y 的摩尔总量与 Al_2O_3 摩尔量的比值, 而 b 是 SiO_2 与 Al_2O_3 的摩尔含量比。根据表 2 中各氧化物含量(将 MnO 和 P_2O_5 也计入在内)可计算得到博罗三地点各硬陶样品的胎分子式。依据胎式将博罗样品与李家治数据中的南方地区样品放在一起作我国南方 5 省区的印纹硬陶的化学组成分布图(图 4)。本文样品是 38 个广东样, 用 GD 表示; 而李家治样品主要涉及浙江、江西、福建、安徽等 4 个南方省区的 69 个硬陶样(图中用符号 ZHJ、JX、FJ、ANH 分别表示此 4 省样品)。图 4 表明广东博罗硬陶位于所谓的低 SiO_2 高 Al_2O_3 区域。不考虑孤例样品的安徽省, 浙江、江西、福建和广东样品的 SiO_2 、 Al_2O_3 、 R_xO_y 平均百分含量和平均摩尔百分含量如表 3 所示。需

要说明的是,表中李家治硬陶样品的 10 种主次量元素的百分含量是归一的,为了比较,我们也将广东博罗硬陶样中 10 种主次量元素含量作了归一化处理。观察从浙江、江西、福建到广东样品,无论从平均百分含量或平均摩尔百分含量来看,其 SiO_2 和 RxO_y 含量大体呈递减趋势,而 Al_2O_3 含量呈递增趋势。这四省的地理纬度的“重心”也不断南移。未知两

者之间一定程度上的“关联”是否偶然。广东硬陶相对于其它各省有最低的 SiO_2 和 RxO_y 含量,因而其 Al_2O_3 含量最高。这种独特的地缘特征决定了它们应有较高的烧结温度。文献[1]报告梅花墩窑址出土的硬陶片的烧结温度都超过了 1200°C ,高于文献[9]报道的我国先秦印纹硬陶的一般烧成温度 $1100 - 1200^\circ\text{C}$ 。

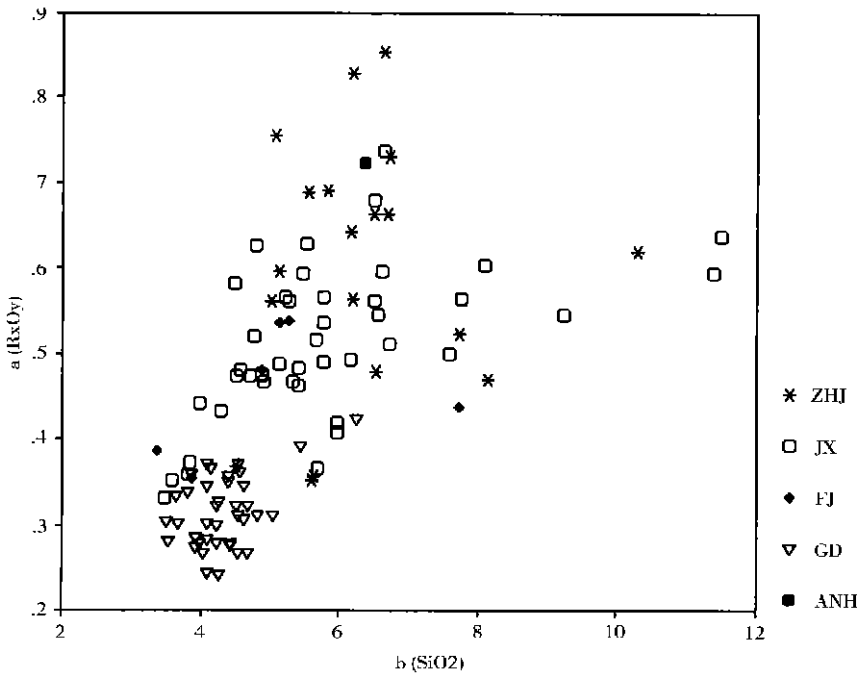


图 4 我国南方 5 省区印纹硬陶的化学成分分布图

Fig. 4 Scatter plot of chemical compositions of hard pottery from five provinces of southern China

表 3 浙江、江西、福建和广东样品的 SiO_2 、 Al_2O_3 、 RxO_y 平均百分含量和平均摩尔百分含量(数据已归一化)

Table 3 Average percentage values of SiO_2 , Al_2O_3 , or RxO_y in hard pottery of Zhejiang, Jiangxi, Fujian or Guangdong provinces (Data are normalized)

省份	代号	平均百分含量			平均摩尔百分含量		
		$\text{SiO}_2\%$	$\text{Al}_2\text{O}_3\%$	$\text{RxO}_y\%$	$\text{SiO}_2\%$	$\text{Al}_2\text{O}_3\%$	$\text{RxO}_y\%$
浙江	ZHI	69.40	19.13	11.48	79.39	12.93	7.68
江西	JX	69.00	21.24	9.76	78.53	14.32	7.15
福建	FJ	66.42	23.47	10.12	76.70	16.09	7.20
广东	GD	65.47	25.92	8.61	76.49	17.87	5.64

4 结论

1) 用 WDXRF 和 INAA 方法测量了广东博罗三地点所出 38 片西周至春秋、战国硬陶的化学成分,及用主成分分析方法对比分析了 INAA 和 XRF 数据,两者的分析结果均表明三地硬陶的化学组成不同,各地点硬陶可能主要是“自烧自用”。

2) 三地点之间出土的外形相似或“完全一致”

的硬陶器应主要是技术传播和文化交流的结果,而不是产品流通造成的。

3) 主次量元素的组成显示,相对于南方其它省区,广东硬陶有 Al_2O_3 含量偏高这一明显的地区特征。

致谢:本工作承蒙广东省文物考古研究所古运泉、邓宏文两同志提供硬陶样品;中国原子能科学研究院微堆室王珂等同志对样品作了 INAA 测量;北京大学考古文博学院 98 级学生潘晓通、高洁同学帮助制作了样品。在此表示衷心的感谢。

参考文献:

- [1] 广东省文物考古研究所, 博罗县博物馆. 广东博罗县园洲梅花墩窑址的发掘[J]. 考古, 1998, (7): 28-44.
The Institute of Archaeology of Guangdong province. The Museum of Boluo county. The excavation of Meihuadun kiln site at Yuanzhou Town of Boluo county, Guangdong province [J]. Archaeology, 1998 (7): 28-44.
- [2] 广东省文物考古研究所. 广东博罗银岗遗址发掘简报[J]. 文物, 1998 (7): 17-30.
The Institute of Archaeology of Guangdong province. The brief report on excavation of Yingang site of Boluo county, Guangdong province [J]. Cultural Relics, 1998, (7): 17-30.
- [3] 广东省文物考古研究所. 广东博罗银岗遗址第二次发掘[J]. 文物, 2000 (6): 4-16.
The Institute of Archaeology of Guangdong province. The second excavation of Yingang site of Boluo county, Guangdong province [J]. Cultural Relics, 2000, (6): 4-16.
- [4] 高崇文. 广东省博罗县横岭山先秦墓地[N]. 中国文物报, 2001-07-29(7).
GAO Chong-wen. The pre-Qin tombs of Henglingshan of Boluo county, Guangdong province [N]. China Cultural Relics News, 2001-07-29(7).
- [5] 王建平. 广东博罗先秦陶瓷和江西洪州窑瓷的 INAA 和 XRF 研究[D]. 北京大学博士学位论文, 2002.
WANG Jian-ping. Study on the pre-Qin ceramics of Boluo county, Guangdong and Hongzhou kilns of Jiangxi with INAA and XRF techniques [D]. Doctoral thesis at Peking University, 2002.
- [6] 王建平, 陈铁梅. 广东博罗先秦陶瓷的 INAA 研究[J]. 核技术, 2003, 26(6): 453-462.
WANG Jian-ping, CHEN Tie-mei. Study on the pre-Qin pottery and proto-porcelain from Boluo county, Guangdong province with INAA [J]. Nucl Tech, 2003, 26(6): 453-462.
- [7] 陈铁梅, 王建平. 古陶瓷的成分测定, 数据处理和考古解释[J]. 文物保护与考古科学, 2003, 15(4): 50-56.
CHEN Tie-mei, WANG Jian-ping. Archaeological study of ancient Chinese ceramics with the chemical composition measurement - review and comments [J]. Sci Conserv Archaeol, 2003, 15(4): 50-56.
- [8] 李家治, 陈显求, 郭演仪等. 中国科学技术史-陶瓷卷[M]. 北京: 科学出版社, 1998. 70-80.
LI Jia-zhi, CHEN Xian-qiu, GUO Yan-yi, et al. A history of science and technology in China - the volume of ceramics [M]. Beijing: Science Press, 1998. 70-80.
- [9] 李家治, 陈显求, 郭演仪等. 中国科学技术史-陶瓷卷[M]. 北京: 科学出版社, 1998. 82-86.
LI Jia-zhi, CHEN Xian-qiu, GUO Yan-yi, et al. A history of science and technology in China - the volume of ceramics [M]. Beijing: Science Press, 1998. 82-86.

Study on the pre-Qin hard pottery of Boluo county, Guangdong province with XRF and INAA

WANG Jian-ping¹, CHEN Tie-mei², CHENG Yu-bing¹

(¹Conservation Center, National Museum of China, Beijing 100006 China)

(²College of Archaeology and Museum, Peking University, Beijing 100871, China)

Abstract: In order to reveal the provenance, sintering process of ancient pottery from Meihuadun, Yingang, and Henglingshan sites of Boluo county, Guangdong province and additionally the details of technology spread and cultural exchange derived from porcelain production among the three places, thirty-eight hard pottery sherds collected from these sites were studied with WDXRF and INAA. These sherds are of Western Zhou to Spring-Autumn, Warring States Periods. Concentrations of 16 or 27 elements were WDXRF or INAA measured and then principal component analysis was applied to the XRF and INAA data sets in the purpose to classify these sherds. The study indicates that ancient pottery of these sites might use raw materials of different origins for hard pottery production, as hard pottery sherds of these 3 sites show different chemical composition patterns. Additional study demonstrates that hard pottery samples of Guangdong are regionally characteristic of higher Al₂O₃ content than those of Zhejiang, Jiangxi, and Fujian provinces.

Key words: Pre-Qin hard pottery of Boluo, Guangdong; WDXRF; INAA; PCA; Provenance study on ancient Chinese ceramics