

金代长白山神庙遗址出土部分建筑构件的材料学分析*

赵俊杰¹ 崔剑锋²

(1. 吉林大学考古学院, 长春, 130012; 2. 北京大学考古文博学院, 北京, 100871)

长白山神庙遗址(原名宝马城遗址)位于吉林省安图县二道白河镇,自2014年起,吉林省文物考古研究所联合吉林大学边疆考古研究中心对该遗址进行了连续多个年度的考古发掘,基本明确了遗址的时代、性质与建筑祖群的布局,确证其为金王朝修建的祭祀长白山的神庙。金代长白山神庙遗址是目前中原地区以外首次发掘的国家山祭遗存,对了解宋金时期岳镇海渚祠庙的格局,探索金代礼仪制度的发展具有什么重要的学术价值,对研究我国统一多民族国家的形成与发展也具有极其重要的意义^[1]。

遗址中出土了大量砖瓦以及用于装饰屋脊的鸱吻等高级建筑构件,其中砖瓦分为红、灰两色,而建筑构件则从内而外可观察到黑灰色表面层,灰白色中间层以及黑灰色核心部分。为了解这些建筑构件的制作工艺,我们对长白山神庙遗址2015年发掘出土的各类建筑构件进行了取样测试,内容包括对砖瓦和鸱吻等建筑构件的化学成分和烧成温度测试,同时还观察了鸱吻的显微结构。

一、分析方法与使用仪器

显微观察使用设备日本Nikon公司Shuttle Pix型体式显微镜,放大倍数从20X至300X。同时,还使用了Hitachi TM3030扫描电子显微镜进行了成分区分。

ED-XRF无损分析使用日本堀场制作所(Horiba Inc.)生产的XGT-7000型能量色散X荧光光谱仪。分析条件:X入射线光斑直径:1.2mm;X光管管电压:30kV;X光管管电流:0.029mA;数据采集时间:150s。解谱方法为单标样基本参数法。

* 本文为吉林省社科基金重大委托项目“长白山金代神庙遗址平面格局及金代祠庙建筑制度研究”(项目编号:2018ZD2)、“长白山金代神庙遗址建筑复原研究”(项目编号:2018ZD1)与吉林大学基本业务费项目“金代长白山神庙遗址遗产价值研究”阶段性成果。

二、分析结果

1. 烧成温度测试

(1) 红色砖

测试的四件红陶砖的烧成温度分别见表一。

表一 红色砖的烧成温度

样品号	烧成温度
T0707-红 1-1	977±20℃
T0707-红 1-2	1004±20℃
T0707-红 6-1	1005±20℃
T0707-红 6-2	1061±20℃
T0707-红色砖平均烧成温度	1011±35℃

图一为红色砖1-1和1-2两件红陶砖样品的烧成温度曲线。

四件红陶砖的平均烧成温度在1010℃左右,符合从新石器晚期开始的我国陶器烧制平均温度900~1000℃的特征。另一方面,1100℃也是泥质陶器烧制的温度上限,如果超过这一温度,陶土中高含量的Fe离子以及其他助熔剂氧化物如K₂O等将和SiO₂反应生成大量玻璃相^[2],将会导致陶器出现烧流现象,这表明此时的制陶技术相当成熟且稳定。

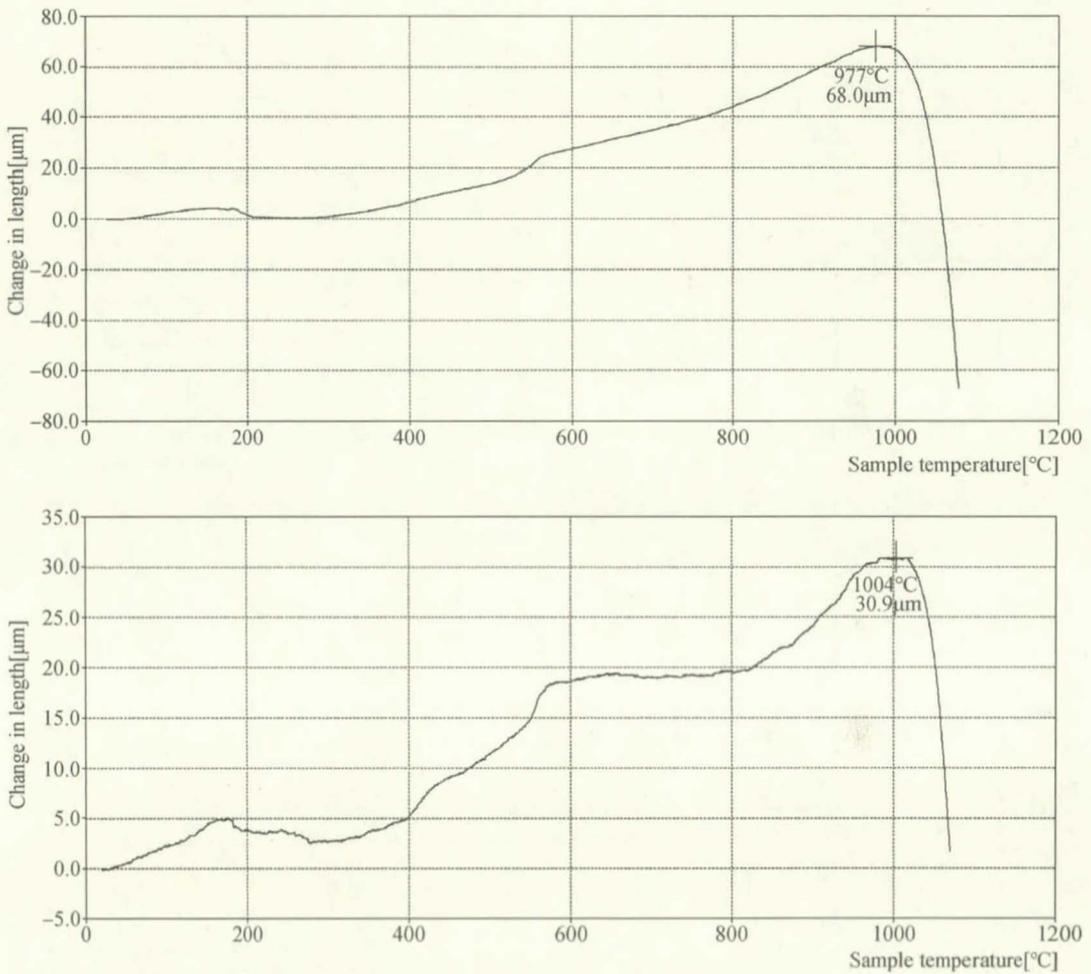
陶色呈现红色,且通体发红,颜色单一,表面没有任何渗碳痕迹,说明陶砖在氧化状态下烧成,而非由于后期失火导致。

(2) 灰色瓦

测试的四件灰色瓦的烧成温度分别见表二。

表二 灰色瓦的烧成温度

样品号	烧成温度
T0707-灰 2-1	1004±20℃
T0707-灰 2-2	997±20℃
T0707-灰 3-1	1010±20℃
T0707-灰 3-2	1003±20℃
T0707-红色砖平均烧成温度	1002±7℃



图一 两件红色砖的受热膨胀曲线

图二为灰陶瓦2-1和2-2这两件样品的烧成温度曲线。

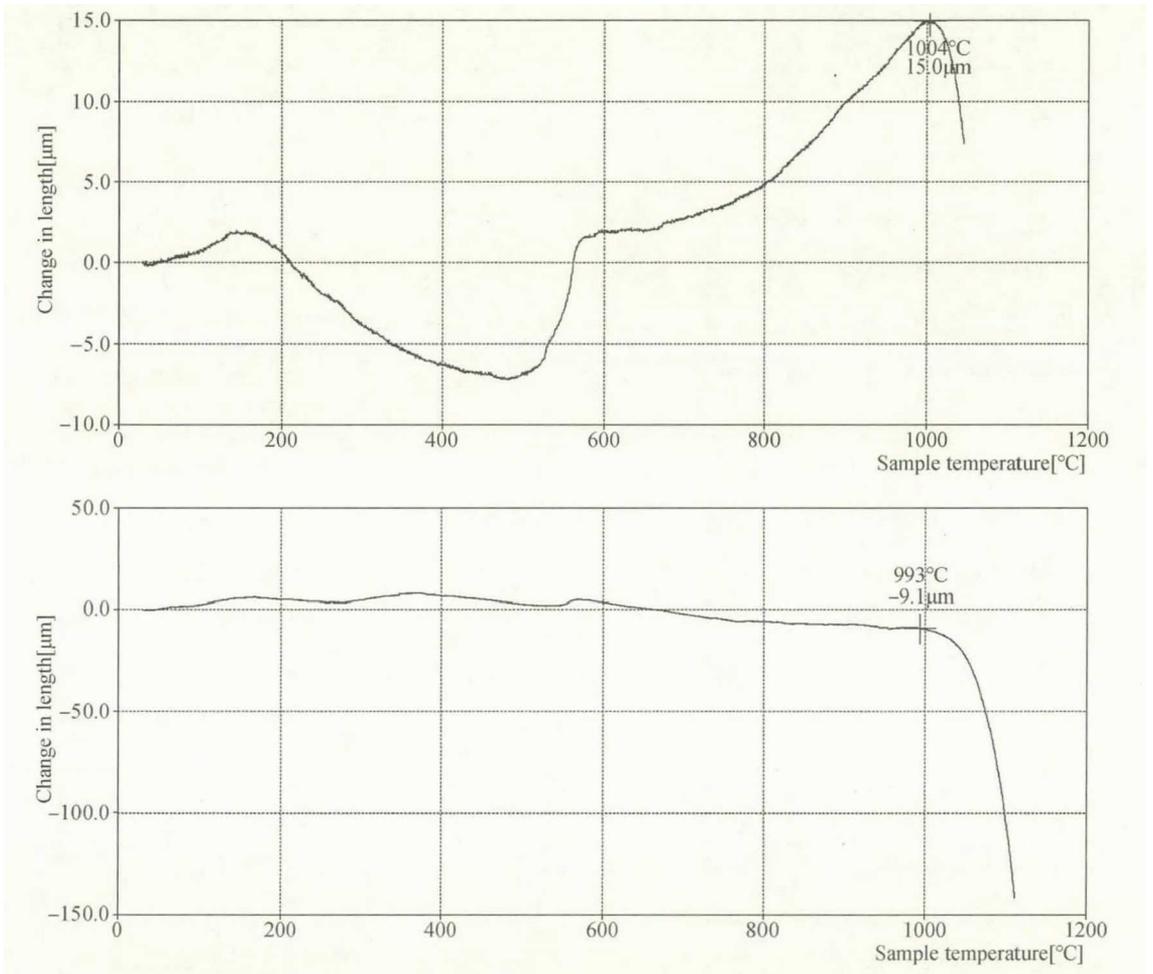
灰陶瓦的平均烧成温度为1000℃左右，和红陶砖的烧成温度近似。如上所述，从龙山时代灰陶制品开始生产，无论灰陶还是红陶烧成温度都稳定在900~1000℃，这和生产陶器的易熔黏土原料的熔点以及陶窑的结构密切相关。而其陶色则只和烧成气氛有关。

通常情况下，红陶和灰陶可以在同一窑炉中烧制，只是在烧成的最后时刻，对窑炉通风设施进行控制，造成缺氧的还原环境，即可将红陶变为灰陶。

烧成温度分析结果表明，无论红陶还是灰陶，其烧成温度都在1000℃左右，符合我国古代烧陶的普遍温度。

(3) 建筑构件

分析的三件建筑构件的烧成温度见表三。



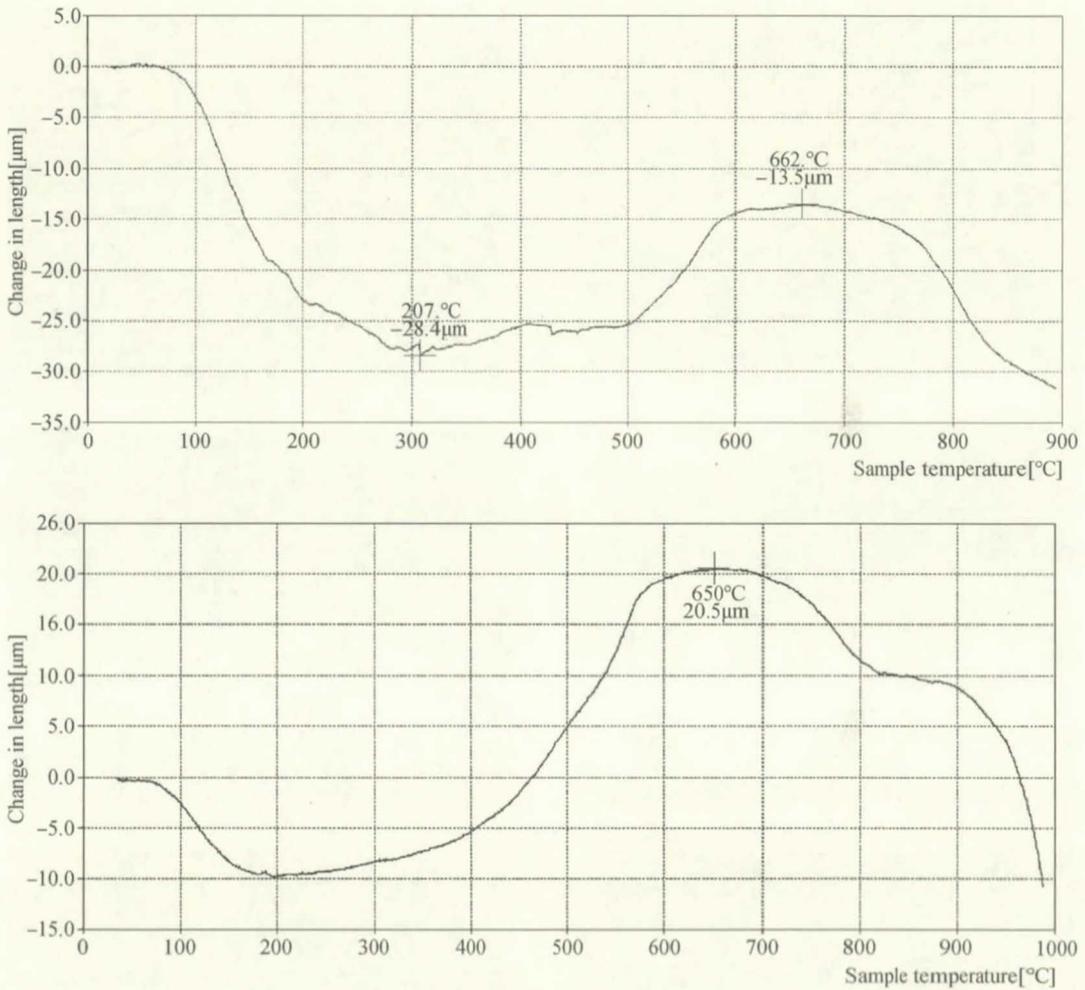
图二 两件灰陶瓦的热膨胀曲线

表三 建筑构件的烧成温度

样品号	烧成温度
T0707-构件2	662℃达到峰值，880℃左右拐点
T0707-构件3	650℃达到峰值，850℃左右拐点
T0707-构件8	626℃达到峰值，950℃左右拐点

构件2和3的烧成曲线见图三。

从热膨胀曲线上可以看到，所有曲线在550 ~ 750℃的范围内存在着缓慢上升又缓慢下降的近似平台的阶段，且在650℃左右达到一个峰值，这说明构件的烧制过程与砖瓦相比更为复杂。若进一步仔细分析，这个缓丘的出现也许和陶器中可能存在的渗碳有关系，从300℃左右的连续上升可能和渗碳颗粒的燃烧导致体积膨胀相关，而到达550℃左右时，碳基本消耗殆尽，体积变化比较缓慢。



图三 两件建筑构件的受热膨胀曲线

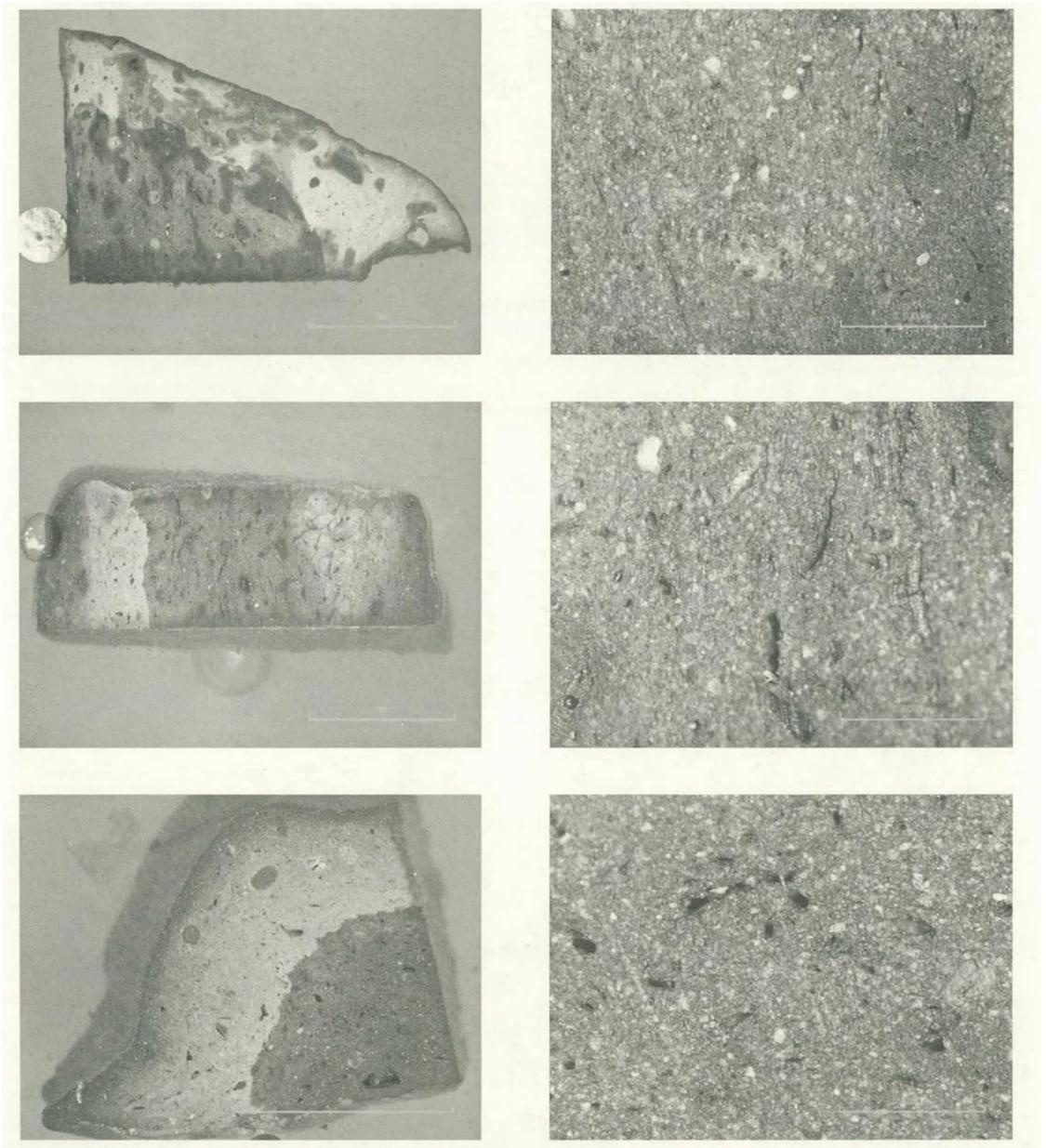
因此从热分析的角度推测，建筑构件在生产过程中可能会有渗碳的步骤，或者是本身黏土中会掺杂有植物残体之类的含碳颗粒。

综上，建筑构件的烧制温度大概在800~900℃，但是在烧制过程中可能存在着渗碳使得表面变黑的过程，其烧制技术相对于红砖或灰瓦都可能更加复杂。

2. 显微观察

我们使用显微镜对建筑构件的截面进行了观察，图四中左栏为样品的截面全景图，右栏为样品的黑色部分的显微结构图。

结果表明，建筑构件颜色从里至外，分别为黑灰色、灰白色和灰黑色。其中外层黑灰色和白色分界并不明显，且可以观察到由外向内扩散的现象，而内层内芯的黑色和白色的边界非常明显，两种泥料可能并非同一种，显示出这类建筑构件制作工艺的复杂。



图四 长白山神庙建筑构件显微结构

放大后观察，无论是白色胎土层还是黑色胎土层都存在着不少的可能是植物残体或者植物残体烧失后留下的孔洞，这表明这类建筑构件在制作时其中的确掺了大量的植物残体，证实了烧成温度测试时出现含碳物质燃烧的情况。

3. 成分分析

表四为所有样品的成分分析结果。

表四 砖瓦和建筑构件的成分分析结果

	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	TiO ₂	Fe ₂ O ₃
红1-1	1.40	2.42	16.06	69.31	—	3.29	0.67	0.68	5.98
红1-2	1.01	2.12	16.42	68.71	—	3.21	1.14	0.81	7.35
红6-1	1.31	1.64	18.41	63.24	—	4.12	1.19	1.19	8.65
红6-2	1.43	1.53	15.26	67.16	—	3.81	1.50	1.24	8.01
灰2-1	1.41	1.94	16.47	69.47	—	3.09	0.86	0.77	5.94
灰2-2	1.41	1.87	16.24	69.8	—	3.13	0.93	0.83	5.65
灰3-1	1.29	1.78	18.07	62.93	—	3.81	1.31	1.43	9.30
灰3-2	1.27	1.78	18.6	63.21	—	3.68	1.7	1.02	8.67
构件1-白色	1.29	2.30	17.36	64.41	2.17	3.53	1.38	0.99	6.54
构件1-黑色	1.02	1.36	17.05	64.52	2.27	3.29	1.57	0.99	8.92
构件3-白色	1.44	2.00	15.70	72.38	0.28	3.15	1.01	0.96	3.33
构件3-黑色	1.00	1.97	16.77	64.84	0.77	3.18	1.51	0.90	9.86
构件2-白色	1.37	1.59	17.62	69.19	0.48	3.62	0.99	1.17	3.93
构件2-黑色	1.15	1.72	17.23	66.47	0.94	3.35	1.64	1.09	6.34

(1) 红砖灰瓦的化学成分

成分分析的结果显示,无论红砖抑或是灰瓦,都是使用古代泥质陶常用的高铁易熔黏土烧制而成的,这种黏土的特点是氧化铁含量较高,通常在5%~10%。用类似黏土烧陶是从新石器中期一直延续至今^[3],因此金代使用这种黏土烧陶和烧制砖瓦的技术应当已经非常成熟。

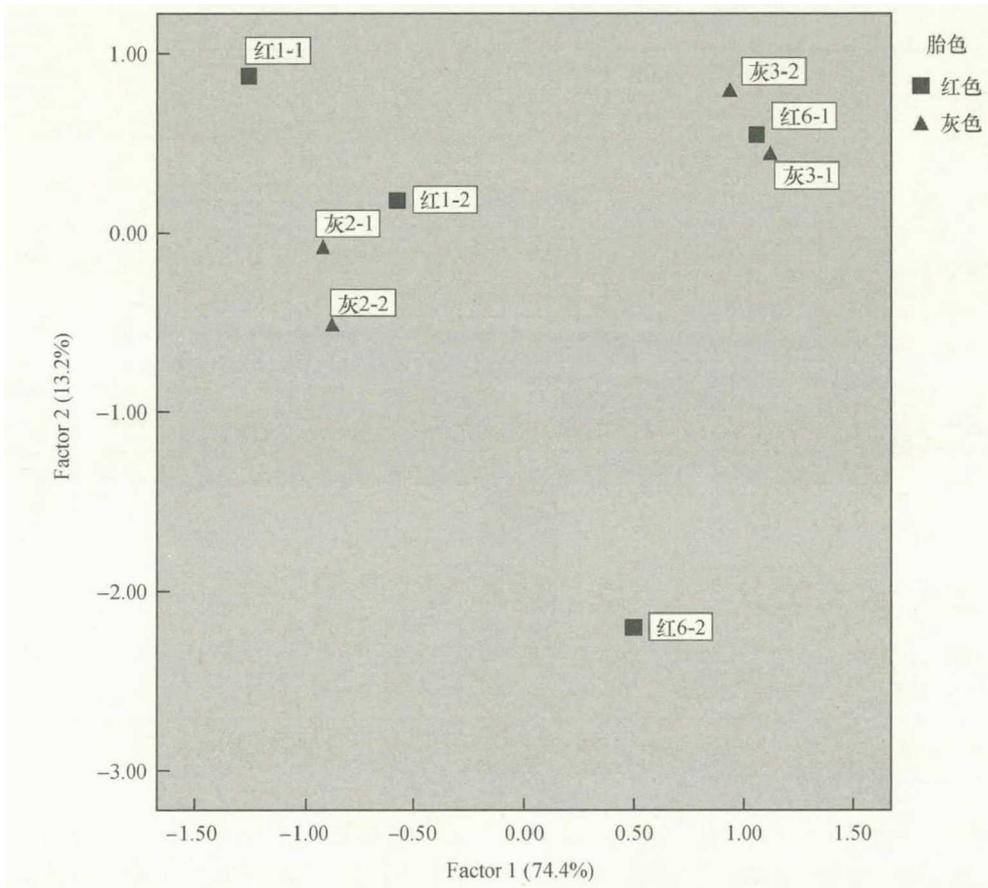
我们还尝试使用多元统计中的主成分分析法对红砖灰瓦的化学分析结果进行统计分析,使用的软件为SPSS18.0。主成分分析可以通过线性变换将多个因子进行降维,最后使用2~3个变换得到新的因子所表达的大部分信息。

图五是以降维后得到的第一主因子和第二主因子做的二维散点图,两个因子可以解释所有变量总方差的87%以上,其中第一主因子可以解释74.4%。

按照第一主因子的划分,可以将所有样品分为两组,这表明这些砖瓦可能有两个不同的来源。

其中红砖1-1/1-2和灰瓦2-1/2-2来源接近,而红砖6-1和灰瓦3-1/3-2的样品则聚在一起。这和前述烧成温度的分析结果相同,从原料分析角度再次证实了红砖和灰瓦胎色的不同实际上仅仅是烧窑气氛的差异。原料来源相同,烧成温度接近的红砖和灰瓦甚至有可能是同一个窑的产品。

结合上述分析可知,当时的制陶工匠已经可以很容易地利用同一种原料,同一窑炉烧成不同颜色的陶器及砖瓦。



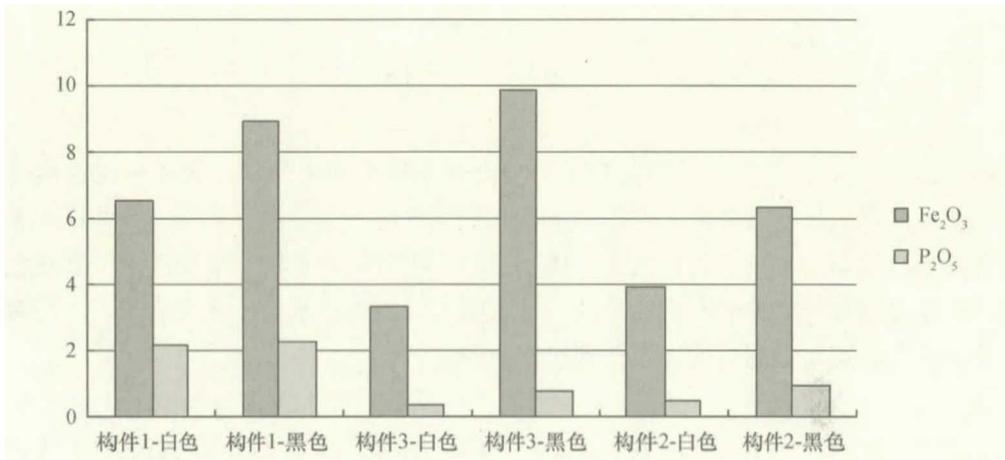
图五 砖瓦的主成分分析散点图

(2) 建筑构件的成分分析

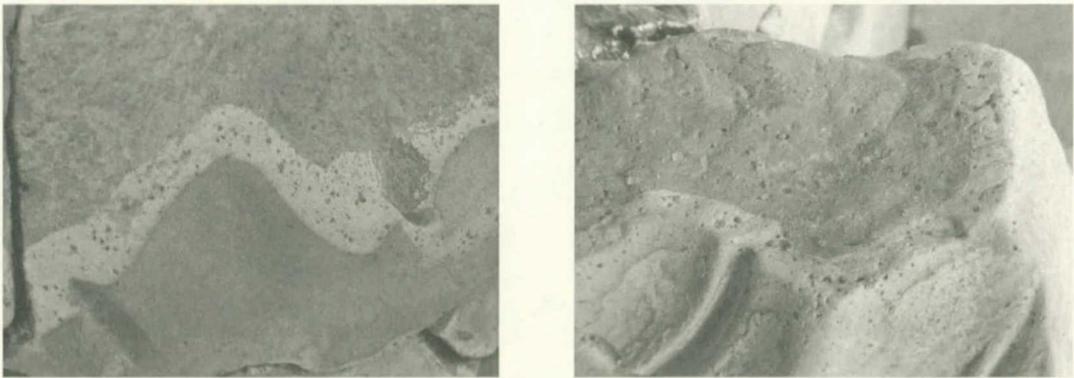
我们分别分析了几件建筑构件的灰白色部分和黑色部分的化学成分，结果参见表四。从表四可以看出，同一样品的大部分氧化物含量接近，差别最为大的是 Fe_2O_3 和 P_2O_5 （参见图六）。这表明和显微观察结果相同，成分分析表明两种颜色的胎的确使用了不同的黏土。黑色核心部分选择了高铁的黏土，而白色外层则使用了铁含量较低的黏土。

胎土中 Fe_2O_3 含量高低决定了胎质颜色的深浅，铁含量越低，胎的颜色越浅，反之颜色越深，但陶器通常不会呈现黑色。如果在还原气氛下烧成的话，这些建筑构件表层为灰白色，而内里为灰色（图七）。因此其内部的黑色并不全是由于铁含量高所致，而更可能是由于内部含有太多的有机质，在烧成的时候内部的有机质烧成不完全，而造成渗碳的效果。这从内外都有一定含量的 P_2O_5 可以看出，也可以通过显微镜观察到。较高的 P_2O_5 显示出胎料中掺杂了较多的植物残体，且内部的含量都比外部白色层的高，说明内部应该掺杂有更多的植物残体（草木灰）。同时，由于外层泥料的封闭，使得在烧成过程中，内部的植物残体不能完全燃烧，而达到碳化的效果。

综合以上所有建筑构件的分析结果，可以看到这些建筑构件的制作工艺相对复



图六 建筑构黑色层和白色层的Fe、P含量对比



图七 建筑构件双层结构实物照片

杂。首先，由于所有的建筑构件造型各异，因此都以手制或模制为主，不会像砖、瓦般大批量生产；其次，所有的构件都由两层泥料制成，为何要用两种泥料，仍是需要思考的问题，但无论如何，相比砖瓦，这种两种胎料的制备显然更加复杂；最后，由于建筑构件在烧成后表面还要重新渗碳，其烧制过程就变得更加繁复。颇值得玩味的是，既然需要建筑构件表面呈现黑色的效果，为何古代陶工又要选择两层黏土，同时还用高铁黏土做表层，然后再进行渗碳，还有待进一步研究。

从成型工艺来看，建筑构件应是先制作内模，然后再在外面用白色泥料进行塑形，最后在温度较低的情况下烧成。内芯土的成分与砖瓦的成分十分接近，而外层胎土的Fe₂O₃含量显著偏低，最终形成灰白色的表面。究其原因很可能是本地黏土所烧陶器颜色深灰，而并不出产铁含量低烧成颜色浅的黏土，类似的泥料本地并不出产，因此为了节省成本，采取了使用本地黏土制模，再在外面用高铁黏土制作精细纹饰，从而烧成灰白色的效果，即可体现出皇家建筑的高规格，又可节省优质黏土的用量。

三、结 论

本文从陶瓷工艺学角度初步分析了长白山神庙遗址出土的部分砖瓦和建筑构件,结果表明,红色的砖和灰色的瓦在原料选择和烧成温度上基本没有差别,有些红砖和灰瓦都使用了高铁易熔黏土(普通陶土)烧制,而且很有可能是同一窑的产品。其颜色的差别,应该是通过气氛控制有意为之的,这表明金代制陶技术已经非常成熟,无需对砖瓦施釉,就可以通过控制烧成气氛得到想要的颜色。

成分分析表明,制作砖瓦的黏土可能至少有两个来源,这或许反映了上述砖瓦至少由两个窑烧成,且每个窑产品的黏土来源不同,同时每个窑又既可以烧红色的砖也可以烧灰色的瓦,只是根据不同的部位需求烧不同的颜色。

建筑构件的制法更加复杂,其全部手制或模制,同时内外施加两层泥料,并在泥料中掺杂了大量的植物灰,在烧成的时候还要渗碳使得表面变黑。从分析结果看,黑色内芯使用的胎料和砖瓦的类似,而外层泥料铁含量较内层低很多,烧成后颜色很浅,说明窑工追求的是浅色的效果。这种复杂的制作工序反映了长白山神庙遗址作为金代皇家神庙的规格与等级。

注 释

- [1] a. 吉林大学边疆考古研究中心. 吉林安图长白山神庙遗址2014年发掘简报 [J]. 考古, 2017 (6): 66-81.
b. 吉林省文物考古研究所, 吉林大学边疆考古研究中心. 吉林安图县金代长白山神庙遗址 [J]. 考古, 2018 (7): 67-81.
- [2] 李家治, 周仁. 气氛对某些瓷坯加热性状的影响 [A]. 中国古陶瓷研究论文集 [C]. 北京: 轻工业出版社, 1982: 93-103.
- [3] 李家治等. 中国科学技术史·陶瓷卷 [M]. 北京: 科学技术出版社, 1998: 110-112.

Material Analysis of Excavated Building Components of the Temple Site on Changbai Mountain in the Jin Dynasty

ZHAO Jun-jie CUI Jian-feng

From the perspective of ceramics technology, this paper gives a preliminary analysis on some tiles and building components unearthed from the temple site on Changbai Mountain in

the Jin Dynasty. The pottery technology in the Jin Dynasty had been very mature; the firing atmosphere could be controlled to get the desired color without the tile glaze. The firing process of the building components is more complicated. From the analysis results, it can be seen that the tire material used in the black inner core is similar to that of brick and tile, while the iron content of the outer clay material is much lower than that of the inner layer, and the color is very light after firing, indicating that the kiln worker pursues the effect of light color. The complexity of the construction technology highlights the high level of the temple site.