

基于粘土矿物 XRD 分析的良渚古城城墙土特征及物源探讨

胡薪苹¹, 师育新¹, 戴雪荣¹, 王金涛¹, 刘斌², 王宁远²

(1. 华东师范大学 资源与环境科学学院, 上海 200062; 2. 浙江省文物考古研究所, 浙江 杭州 310014)

摘要: 在野外观察、测量和系统采样的基础上通过粘土矿物、粒度及元素地球化学实验, 分析了良渚古城城墙土的成分特征, 并探讨了其物质来源。研究结果表明: ① 北城墙夯土层的粒度、地球化学元素及粘土矿物组合特征与区内馒头山、黄泥口土丘极为相似, 均为粘土质粉砂, 粘土矿物组合为伊利石-高岭石-蛭石和绿/蛭混层-蒙皂石型, 垫土层则与区内广泛分布的生土层在各指标上表现出一致的特征。据此认为, 城墙夯土层取土于附近土丘馒头山和黄泥口, 而垫土层则就地取土于附近生土层。② 馒头山等自然土丘由于地势较高经历了较强的氧化作用, 而生土层是湖沼相沉积物, 地势较低, 处于弱还原的环境, 因此二者的粘土矿物组成和结晶度、化学元素等都不同。良渚先民就地取生土层为城墙垫土基础后, 并未用它来夯筑城墙, 而是从附近馒头山等自然土丘上采取了更适合建筑的土来修筑城墙。

关键词: 良渚古城, 城墙土, XRD 分析, 粘土矿物, 物源

中图分类号: P575.5; K878

文献标识码: A

文章编号: 1000-6524(2013)03-0373-10

Characteristics and source of city wall's earth in the Neolithic Liangzhu City based on XRD analyses of clay minerals

HU Xin-ping¹, SHI Yu-xin¹, DAI Xue-rong¹, WANG Jin-tao¹, LIU Bin² and WANG Ning-yuan²

(1. College of Resources and Environment Science, East China Normal University, Shanghai 200062, China;

2. Zhejiang Provincial Institute of Cultural Relics and Archaeology, Hangzhou 310014, China)

Abstract: Sampling was conducted according to field survey and measurement and, on such a basis, the authors studied the component features of the city wall's earth in the Neolithic Liangzhu City, and further discussed its source in association with the analysis based on experiments of XRD, grain size and geochemical elements. The results are as follows: ① Characteristics of grain sizes, geochemical elements and clay minerals are similar to those of Mantou and Huangnikou mounds, and the northern city wall's earth is dominated by clay silt. Clay minerals comprising city wall's earth belong to the combination of illite-kaolinite-vermiculite/mixture of chlorite and vermiculite-smectite. Padded earth's characteristics in northern city wall are similar to earth's characteristics of the fourth layer widely distributed in this area. It is therefore inferred that the source of the city wall's earth was derived from somewhere near Mantou and Huangnikou mounds. ② Mounds like Mantou went through strong oxidant activity because of its high elevation. The raw earth consisting of lacustrine-swamp facies went through reduction activity because of its low elevation, resulting in differences in mineral component degree of crystallinity and geochemical elements. The Neolithic people in Liangzhu area used the local earth only for the city wall's foundation, and they didn't use it to build the city wall directly. They chose the soil from

收稿日期: 2013-01-15; 修订日期: 2013-04-02

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(41071134)

作者简介: 胡薪苹(1989-), 女, 汉族, 硕士研究生, 自然地理学专业, E-mail: huxingping1989@126.com; 通讯作者: 师育新(1963-), 女, 汉族, 副教授, 沉积与环境研究方向, E-mail: yxshi@geo.ecnu.edu.cn.

somewhere near mounds like Mantou, because they thought the soil there was more suitable to building city wall.

Key words: XRD analysis; Neolithic Liangzhu City; clay minerals; city wall's earth; material source

2007年,浙江省文物考古研究所经过2年的钻探与发掘,在位于杭州市北郊良渚镇和瓶窑镇毗邻地带的良渚遗址群中,发现并确立了良渚古城。它代表了良渚文化(时间跨度为1000年)发展的最高成就,是良渚文化的中心。近年来,对于古城墙的研究,各专家分别从不同的专业领域给予了分析和探测。刘菁华等(2010)运用地面 γ 能谱探测了良渚古城墙的位置、宽度和走向,为后人进一步研究良渚古城打下了坚实的基础。良渚古城城墙自上而下分为夯土层、垫石层、垫土层、生土层。对城墙夯土层的系统研究,对了解古城墙的修筑方法、用途以及修筑年代等都具有十分重要的研究意义。本文基于对古城城墙遗址的野外观察与地貌测量,以遗址中保留最为完整的北城墙及附近土丘馒头山、黄泥口为研究对象,通过粒度、粘土矿物和元素分析来探讨城墙土来源与附近土丘及生土层之间的关系。

1 研究区概况

古城遗址位于杭州市余杭区瓶窑镇,在良渚遗址群西侧,南北长约1900 m,东西宽约1700 m,总面积达3 km²(图1)。区内地形主要以平原为主,主要

河流为东苕溪,平均海拔在2~5 m(吴淞高程)。其中,莫角山遗址位于良渚古城的中心。该区域冬短夏长,日照较多,年均气温16℃,年降水量为1150~1550 mm。

古城遗址的北城墙(NCW, 30°24'06.7"N, 119°59'15.9"E)所在位置是一片竹林地,其地势明显高于北侧的公路和田地,形态上呈现隆岗状。北城墙的残存墙体比较完整,总高度为4.5 m,自上而下,依据野外观察到的土壤的颜色、质地不同,可分为夯土层(又可细分8层)、垫石层、垫土层。其中,夯土层大多为灰褐色或灰黄色,有斑状物质,质硬,含少量植物根系,垫土层则为深褐色粘土,粘性比夯土大许多,内含许多植物根系,垫土层之下为自然沉积生土层,为青灰色粘土,质地最纯,粘性比夯土层和垫土层都要大,并含有礞石。

馒头山土丘(MT)位于北城墙往西约200 m的平行位置处,而黄泥口土丘(HNK)位于馒头山土丘北面100 m处(图1)。

据现有钻孔资料表明,钻孔深度范围内(<6 m),良渚遗址群所处的平原普遍存在第④层土,即生土层(由考古工作者命名,为研究工作方便,本文沿用该名)(表1)。而黄泥口、馒头山两处钻孔则与良渚

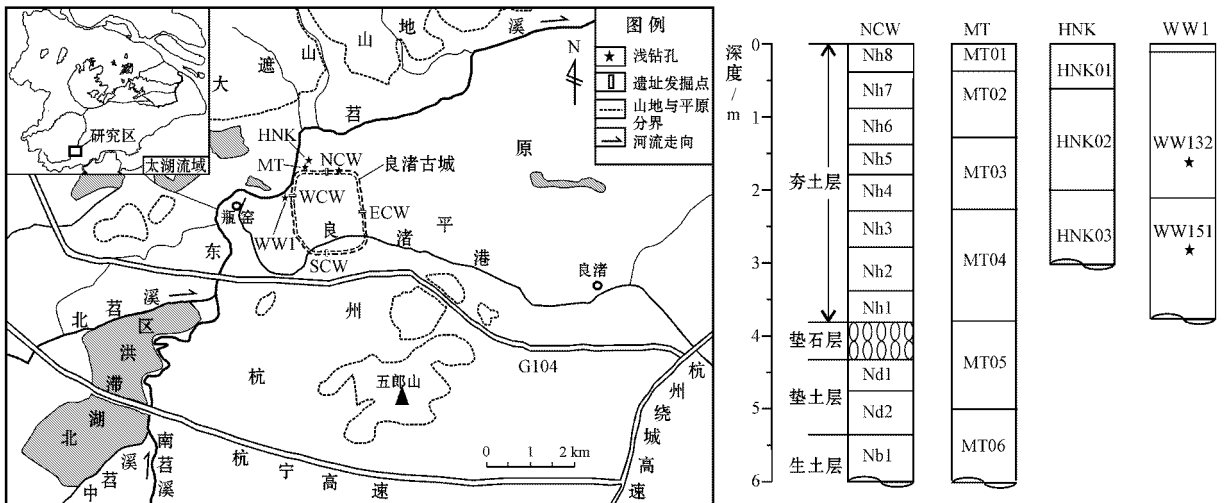


图 1 良渚古城分布、采样柱状图及样品描述

Fig. 1 Distribution of Neolithic Liangzhu City and sampling columnar section as well as sample description

表 1 “良渚湾”平原区土层划分与岩性描述(据戴雪荣等,2012)

Table 1 Holocene stratigraphic division and lithologic description of the Hangzhou-Jiaxing-Huzhou Plain (Dai Xuerong *et al.*, 2012)

层位	厚度/m	岩性描述	范围
①现代耕作层	0.2~0.4	结构疏松,含大量植物根系	整个平原区
②历史耕作层	0.2~1.5	岩性不一,包含历史时期陶片、骨骼等	多见考古遗址点
③黄粉土层	1~2	黄色、黄褐色粉性土,质地纯净,见褐斑	整个平原区
④生土层	未见底	青灰色粘土,间或有植物腐殖质,湖沼相	整个平原区

遗址群所处的平原土层不同,它们质地单一,没有 4 层分层的特征,为自然沉积土丘。据此推断,馒头山、黄泥口在良渚时期便早已形成地势较高的土丘或山体。此外,根据研究区域各点吴淞高程的测量,结合近代以来东苕溪的水位以及城墙土各土层性质不一的特点,推测城墙各土层来源不一,附近土丘就地取土可能是城墙夯土的重要来源。

2 剖面与采样

根据分层,在北城墙新鲜剖面采取 11 个样品,每个约 200 g。馒头山土丘采样地点为山腰较平坦处,钻孔总长 6 m,自上而下间隔采集了 6 个样品。黄泥口采样地点位于丘顶较为平坦开阔处,钻孔总长 3 m,共采集 3 个样品。不同钻孔样品的岩性描述

见表 2,采样钻孔见图 1。另外还在西城墙外钻孔(WW1)中,各选取 1 个③、④层土样 WW132、WW151,作为对比研究。

3 研究方法

3.1 粘土矿物

原样经风干后取 10 g 左右,用双氧水去除有机质,超震、分散后采用沉降法分离出全部 $< 2 \mu\text{m}$ 的粘粒用于粘土矿物分析。除制备自然定向片外,另外称取分离出的粘粒 40 mg 用 KCl 溶液饱和 3 次,用去离子水洗去 Cl^- ,制成钾饱和片。所用仪器为 Panalytica(原 Philips)公司生产的 X'Pert Pro MPD 型 X 射线衍射仪,分别进行自然片、乙二醇饱和片、 550°C 加热 2 h 片及钾饱和片测试。实验条件为:Cu

表 2 不同钻孔的样品描述

Table 2 Description of samples from different types of cores

采样点	样号	层位及描述
北城墙	Nh8	夯土层:竹林地,浅黄色,结构疏松,含植物根系,厚 0.25~0.4 m
	Nh7	夯土层:灰褐色或灰黄色,有斑状构造,质硬,含少量植物根系,厚 0.25~0.5 m
	Nh6	夯土层:灰黄色,质地坚硬,结构致密,不含杂质,厚 0.4~0.6 m
	Nh5	夯土层:黄褐色斑状土,质地坚硬,偶见黑斑,夹杂黑色矿物颗粒,厚 0.25~0.4 m
	Nh4	夯土层:黄色斑状土,褐斑、黑斑增多,质地坚硬,厚 0.3~0.5 m
	Nh3	夯土层:黄褐色斑状土,整体呈褐色,质硬,横向上由几部分夯土构成,厚 0.3~0.55 m
	Nh2	夯土层:灰黑色斑状土,土粒多呈团块状,质硬,横向上由几部分夯土构成,厚 0.3~0.4 m
	Nh1	夯土层:黄砖红色斑状土,结构致密,受潮湿环境影响质地较软,偶见黑色斑块,厚 0.3~0.5 m
	Nd1	垫土层:深褐色粘土,粘性大,含很多植物根系,厚约 0.2 m
	Nd2	垫土层:深褐色粘土,粘性大
	Nb1	生土层:青灰色粘土,质地较纯,粘性大,含有礞石
馒头山	MT01	耕作层,含有植物根系,周围为竹林、菜地
	MT02	黄灰色土,偏粉性,结构致密
	MT03	黄灰色,夹杂灰白土,结构致密
	MT04	灰色粘土,有黑色植物腐殖质
	MT05	黄灰色粘土,见红褐色,质地均匀
	MT06	红褐色粘土,结构致密,纯净无杂质
黄泥口	HNK01	竹园耕作土,质地松软,含植物根系
	HNK02	红褐色粘土,结构紧致
	HNK03	红褐色粘土,质地坚硬、结实

靶, $K\alpha$ 辐射, 管压 35 kV, 管流 25 mA, 扫描速度 $3^\circ/\text{min}$ 。对鉴定出的粘土矿物采用权重系数法做半定量计算, 伊利石比例系数为 4, 蒙皂石为 1, 高岭石和 1.4 nm 矿物为 2。

3.2 粒度

称取 0.06~0.1 g 不等的样品置于 100 mL 烧杯中, 用 30% H_2O_2 除有机质, 再加入 10 mL 浓度为 2% 的稀盐酸除去碳酸钙胶结物, 然后再加入 10 mL 浓度为 2% 的六偏磷酸钠使其分散, 放到超声波震荡仪上震荡 15 min, 静置 12 h 后再次在震荡仪上震荡 10 min, 然后上机测试。测试仪器为 LS13320 型激光粒度仪。各粒度指标和粒度参数分别用 LS13320 软件和 Excel 处理。

3.3 元素地球化学

样品在恒温箱 40°C 下干燥后, 研磨, 过 100 目筛子, 取大约 5 g 干样, 使用 YY-600 型实验室压样机把样品压平, 然后利用 XRF-1800 型 X 射线荧光光谱仪测定各种元素及氧化物的含量。常量元素分析结果以氧化物的形式给出, 微量元素分析结果以单元素的形式给出。分析过程采用国家标准沉积物样 GSD-9 全程监控。

4 结果

4.1 粘土矿物组合与伊利石矿物学特征

样品的主要粘土矿物特征峰(图 2, 其中 1 为乙二醇饱和片, 2 为钾饱和片, 3 为 550°C 加热片, 4 为自然片)在不同处理后的变化显示, 城墙夯土层(Nh3、Nh8)和馒头山(MT05)、黄泥口(HNK02)样品相似, 而北城墙垫土层(Nd)、生土层(Nb)和 WW1 孔的生土层样品相似。

根据不同处理后各粘土矿物特征峰的变化, 对样品进行了定性和半定量分析, 分析方法参见师育新等(2005a)。分析结果(表 3)显示, 城墙夯土层和馒头山、黄泥口相同, 都是伊利石-高岭石-蛭石和绿/蛭混层-蒙皂石型组合; 而北城墙垫土层、生土层和 WW1 孔的生土层样品相同, 属于伊利石-高岭石-绿泥石-蒙皂石型组合。粘土矿物含量三角图(图 3)也显示城墙夯土层和馒头山、黄泥口相似, 而城墙垫土层和区内生土层相似。

矿物的结晶程度直接影响了衍射峰的强度和形状, 因此根据 X 衍射图谱上的某些衍射峰的形状可以衡量一种矿物的结晶度(隆浩等, 2007)。我国土

壤中最主要的粘土矿物是伊利石, 伊利石的结晶度可以反映其经历的风化作用强度。本文利用乙二醇曲线计算伊利石矿物学特征。伊利石的结晶度采用 Kübler 指数进行分析, 根据 10 \AA 衍射峰处的半峰宽来确定。利用 Diekmann 对结晶程度的划分标准: 当计算值 < 0.4 , 伊利石的结晶度极好; 值在 $0.4 \sim 0.6$, 结晶度好; 值在 $0.6 \sim 0.8$, 伊利石为中等结晶; 值 > 0.8 时, 说明伊利石结晶很差。伊利石结晶度低值代表结晶度高, 指示陆地物源区水解作用弱, 为干冷的气候条件, 这个参数也可用于示踪物源区和搬运路径。伊利石的化学指数是通过 $5 \text{ \AA}/10 \text{ \AA}$ 峰面积比来计算的, 比值 > 0.5 为富 Al 伊利石, 代表强烈的水解作用; 比值 < 0.5 为富 Fe-Mg 伊利石, 为物理风化结晶(Diekmann and Wopfner, 1996; 李传顺等, 2012)。

如图 4 所示, 北城墙夯土层的伊利石结晶度和化学指数与馒头山较为接近, 结晶度和化学指数都较高, 指示该层土经受了较强的风化作用。垫土层、生土层与 WW151(④层土)样品一致, 伊利石结晶度、化学指数都较低, 指示该层较弱的风化作用。图 5 中, 北城墙夯土层的数据虽相对比较发散, 但与馒头山、黄泥口样品的数据处于同一特征区域内。这可能指示着各层夯土层的取土年代并不一致, 原始城墙建成后, 良渚先民在不同的年代里对城墙进行过加高。该区域的生土层是良渚文化之前的自然沉积土层, 伊利石矿物学特征说明北城墙垫土层物质来源也很有可能是就地取土(生土层)。

4.2 粒度、元素特征

北城墙及其各土层在粒度组分含量及参数上变化不大(表 4、图 5), 粘土、粉砂和砂的含量都在 33%、63% 和 3% 左右, 均属粘土质粉砂; 平均粒径都在 7.24ϕ 左右, 反映了以粉砂为主的特点; 分选系数约为 2, 表示分选很差; 峰态和偏度同样十分接近。馒头山孔的 6 个样品与黄泥口孔的 3 个样品各项粒度指标都与北城墙各土层十分相近。但从平均粒径和分选系数关系图(图 6)上看, 馒头山、黄泥口与城墙夯土层分布范围一致, 其分选系数 > 2 , 区别于垫土层和生土层的分选系数 (< 2)。同样与城墙夯土层一致, 其峰态和偏态分别是 0.93 和 0.27, 分布曲线与夯土层几乎重合。

样品分析结果显示, 在 Sr、Rb、Zn、 SiO_2 、Cu、 Al_2O_3 、CaO 等元素和氧化物含量特征方面, 夯土层与馒头山、黄泥口十分接近, 垫土层与生土层也很接近(图 7)。各样品 Ti 的含量最高, 达到 $5\,000 \times 10^{-6}$

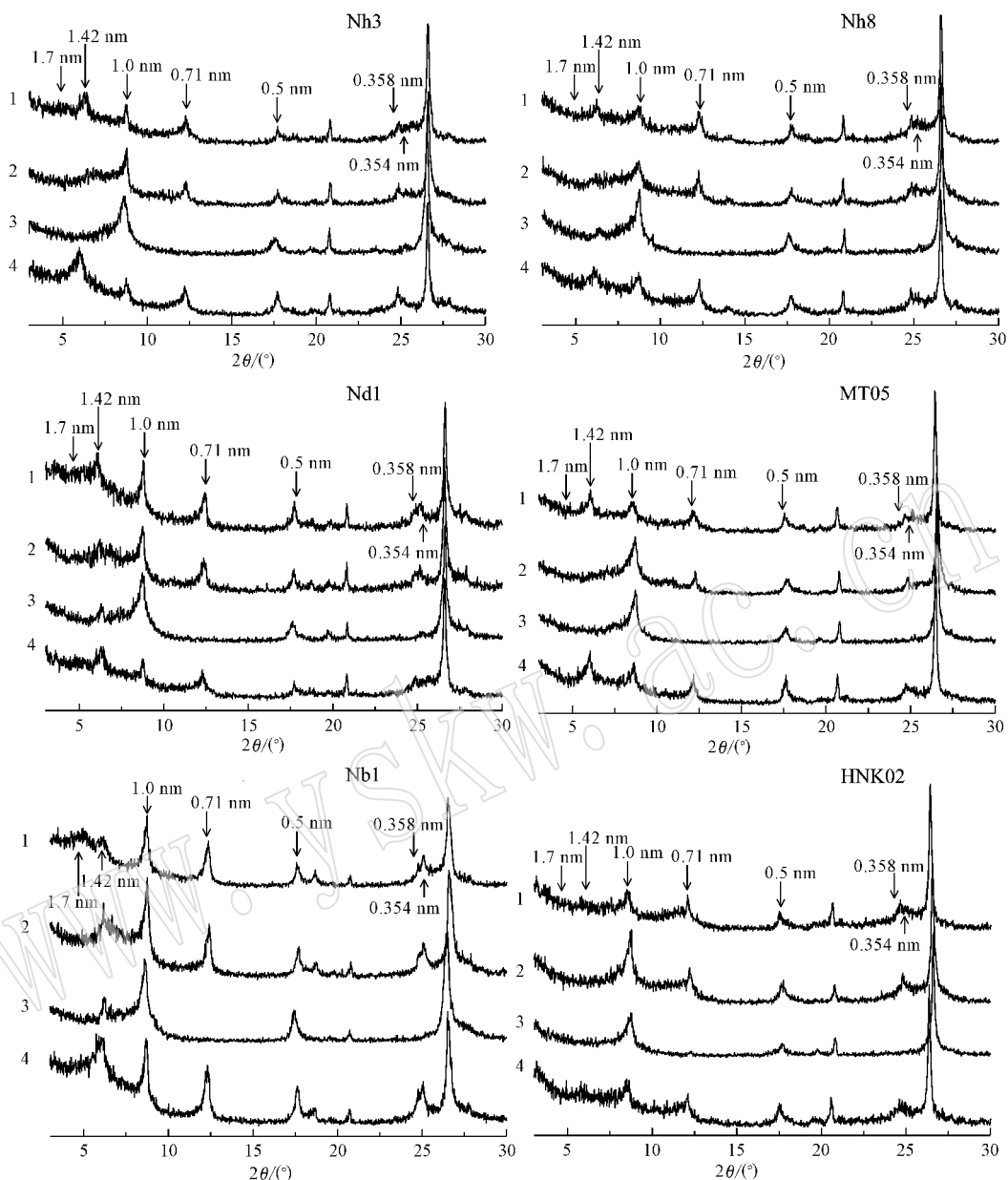


图 2 北城墙及馒头山、黄泥口代表样品的 X 射线衍射图谱

Fig. 2 XRD patterns of clay minerals from the northern city wall , Mantou and Huangnikou mounds

~6 000 × 10⁻⁶, 在馒头山和黄泥口样品中平均含量则高于 6 000 × 10⁻⁶。这是因为 Ti 的迁移能力较小, 在沉积物中保存较好。P 和 Mn 的波动较为明显, 在各层的平均含量变化较大, 这可能跟这两种元素易于溶解、受周边环境影 响较大有关。

相关分析显示, 研究区内各样品的相关性都比较好, 其中北城墙夯土层与馒头山、黄泥口的相关系数最高, 达 0.99, 高于其与垫土层、生土层的相关系数 0.95 (图 8)。这表明夯土层与馒头山在物源上具

有高度关联性。

值得注意的是, 城墙垫土层与生土层在各指标上表现出明显的一致性。结合野外观察, 城墙下的生土层顶部标高比外围生土层高出近 1 m, 据此推断, 北城墙垫土层的物源很大可能性是城墙修建时, 人们就地取土, 采集了附近的生土层。

4.3 讨论

严钦尚等(1987)、王张华等(2004)认为 7 000 aBP 以后, 被浸的丘状台地经过加积填高, 原来地势

表 3 各样品粘土矿物含量($w_B/\%$)及 Kübler 指数

Table 3 Percentages of clay minerals($w_B/\%$) and Kübler indexes of all samples

样品号	伊利石	高岭石	蒙皂石	1.4 nm 矿物	绿泥石	绿/蛭混层	蛭石	Kübler	伊利石化学指数
Nh3	49.12	17.54	6.22	27.11	无	较多	较多	0.571	0.646
Nh5	53.04	25.22	4.35	17.39	无	较少	较多	0.806	0.780
Nh7	50.53	31.58	5.61	12.28	无	较少	较多	0.528	0.880
Nh8	48.87	25.56	3.38	22.18	无	较少	较多	0.549	0.975
Nd	61.45	11.82	7.53	19.20	较多	无	无	0.392	0.285
Nb	64.02	13.58	6.50	15.91	较多	无	无	0.347	0.492
MT02	42.91	14.06	4.41	38.62	无	较多	较少	0.328	0.640
MT03	51.95	31.17	6.49	10.39	无	无	较多	0.508	0.552
MT04	68.62	21.05	3.31	7.02	无	较少	较多	0.373	0.573
MT05	48.31	23.60	0.00	28.09	无	较少	较多	0.545	0.633
MT06	55.60	25.48	5.02	13.90	无	较少	较多	0.385	0.713
HNK02	60.99	26.95	4.26	7.80	无	无	较多	0.493	0.261
HNK03	66.67	17.86	3.57	11.90	较少	无	较多	0.43	0.618
WW132	72	13.4	4	10.3	较少	较多	较少	0.291	0.436
WW151	71.93	15	2.45	10.56	较多	无	无	0.309	0.55

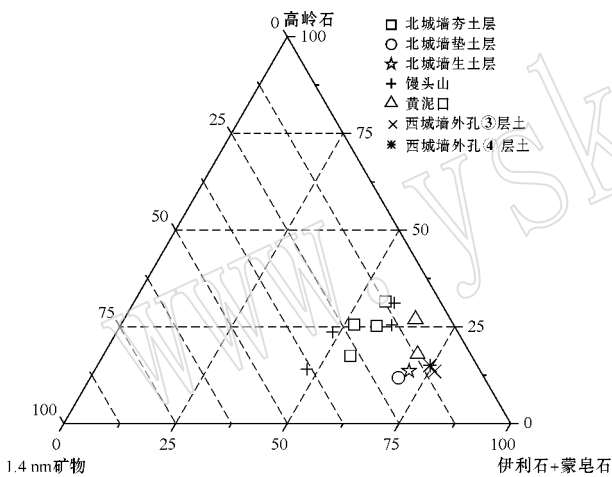


图 3 北城墙及馒头山、黄泥口代表样品粘土矿物组合对比

Fig. 3 Contrast of clay mineral combinations between representative samples from the northern city wall, Mantou and Huangnikou mounds

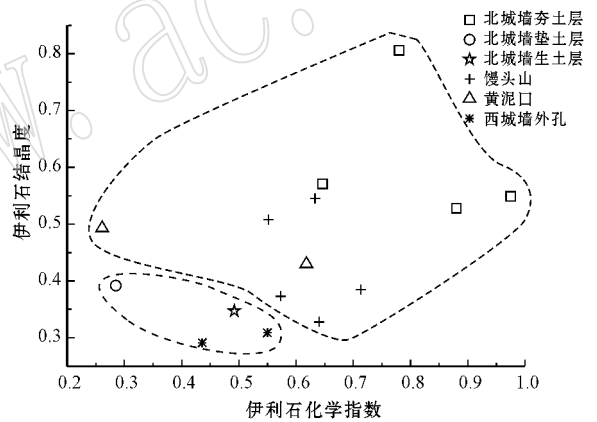


图 4 北城墙及馒头山、黄泥口代表样品伊利石结晶度与化学指数对比

Fig. 4 Contrast of illite crystallinity and chemical index between samples from the northern city wall, Mantou and Huangnikou mounds

稍高处的低盐沼泽和潮坪区在 6 000 aBP 即转变为潮上带,全新世长江三角洲开始发育,岸线快速向海推进。此时太湖平原虽然仍会受到特大高潮侵袭的威胁,但施加人工填土加高,已初备可以栖息的条件。也正是在这样的环境下,太湖周围出现了这一时期众多的新石器时代文化,即 6 000~4 000 aBP 的马家浜、崧泽和良渚等史前文化。

粘土矿物是构成细粒物质的主要矿物成分,不同的粘土矿物物理化学性质不同(隆浩等,2007)。

实验分析显示,与研究区内广泛分布的生土层(湖沼相沉积物)相比,馒头山、黄泥口等自然土丘粘土矿物组合中含有蛭石(及其混层矿物),而基本不含绿泥石。从粘土矿物的成因来看,绿泥石一般形成于碱性、微弱风化的环境,而蛭石则是中等风化条件的产物(师育新等,2005b)。因此馒头山和黄泥口沉积物由于地势较高,处于氧化环境,经历了较强的化学风化作用,而湖沼相沉积物——生土层则由于地势低洼,在弱还原环境下,沉积物经历的化学风化强度较弱。伊利石结晶度和化学指数(图 4)也证实了这一结论。所以,从矿物成熟度来说,馒头山和黄泥口

表 4 样品的主要粒级成分及参数表

Table 4 Granulometric compositions and parameters of all samples

样品号	层位性质	$\omega_B/\%$			粒度参数				
		粘土	粉砂	砂	众数/ ϕ	平均粒径/ ϕ	分选系数	峰态	偏度
Nh8	北城墙夯土层	29.7	66.8	3.5	5.39	7.99	2.01	0.9	0.24
Nh7	北城墙夯土层	32.5	64	3.5	5.66	7.09	2.02	0.92	0.22
Nh6	北城墙夯土层	30.7	67.2	2.1	5.53	7.44	1.99	0.9	0.29
Nh5	北城墙夯土层	32.5	63.3	4.2	5.66	6.83	2.04	0.95	0.2
Nh4	北城墙夯土层	37.1	59.4	3.5	5.66	5.95	2.07	0.87	0.17
Nh3	北城墙夯土层	34.5	64.3	1.2	5.53	6.11	2.02	0.92	0.26
Nh2	北城墙夯土层	32.2	65.7	2.1	5.66	6.75	1.94	0.93	0.25
Nh1	北城墙夯土层	39.9	57.5	2.6	5.66	5.3	2.12	0.84	0.18
Nd1	北城墙垫土层	31.3	66.2	2.5	5.66	6.93	1.91	0.96	0.21
Nb1	北城墙生土层	39.1	57.5	3.4	7.28	5.32	1.93	1.01	0.1
MT01	馒头山	26.4	70.9	2.7	5.39	6.80	2.00	0.97	0.34
MT02	馒头山	28.6	68	3.4	5.53	6.99	1.98	0.97	0.29
MT03	馒头山	38.2	60.6	1.2	5.66	7.49	2.06	0.85	0.21
MT04	馒头山	25.4	69.6	5	5.39	6.72	2.04	1.01	0.30
MT05	馒头山	32.6	66.6	0.8	5.66	7.24	1.98	0.90	0.29
MT06	馒头山	36.6	60.1	3.3	5.66	7.39	2.13	0.87	0.22
HNK01	黄泥孔隙	29.6	67.3	3.1	5.39	6.99	2.02	0.93	0.27
HNK02	黄泥孔隙	39.3	60.3	0.4	5.66	7.57	2.00	0.85	0.21
HNK03	黄泥孔隙	40.5	58	1.5	5.66	7.60	2.07	0.85	0.19

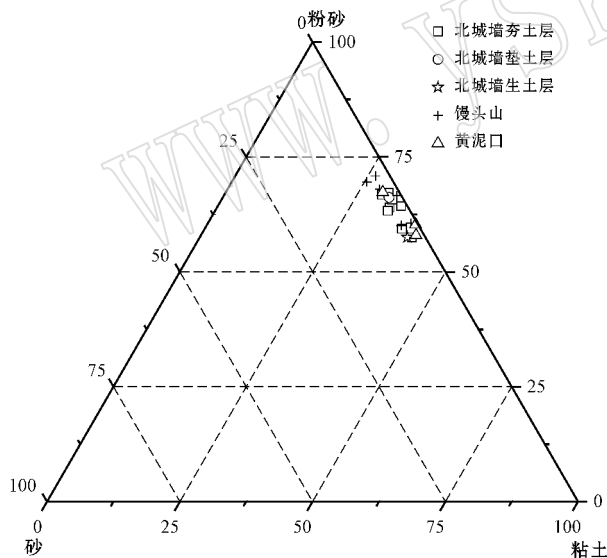


图 5 样品粒度组成对比图

Fig. 5 Contrast of granulometric composition between samples from the northern city wall, Mantou and Huangnikou mounds

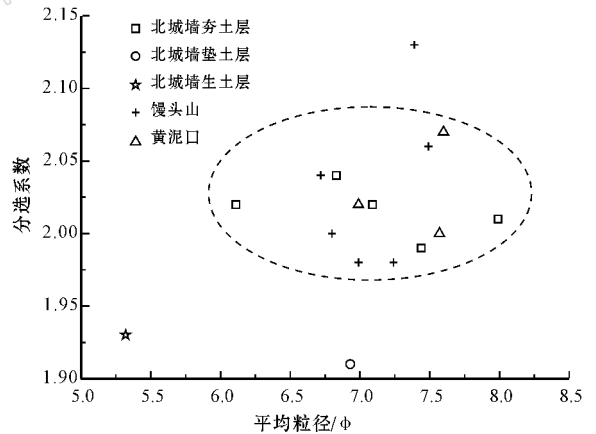


图 6 样品平均粒径与分选系数关系图

Fig. 6 Diagram showing the relationship of the mean grain size and sorting coefficient between samples from the northern city wall, Mantou and Huangnikou mounds

沉积物高于生土层,物质成分更为稳定。另外,绿泥石是酸敏性矿物,遇酸容易发生分解(取决于酸的浓度和温度)。而蛭石常用作建筑材料、吸附剂、防火绝缘材料和土壤改良剂等,在建筑工业上获得了广泛的应用(余斌,1990)。或许正是基于以上原因,良

渚先民就地取生土为城墙垫定基础后,并未任意从湖泊、沼泽或者平原的土层上取土,而是从附近自然土丘上采取了这种相较于其他土层更为优越的泥土来修筑城墙。

良渚文化经历了1300多年后突然消失了。有关良渚文化突然消失的原因,最为流行的便是洪水说。洪水说也得到了地质学研究(施少华,1993;王

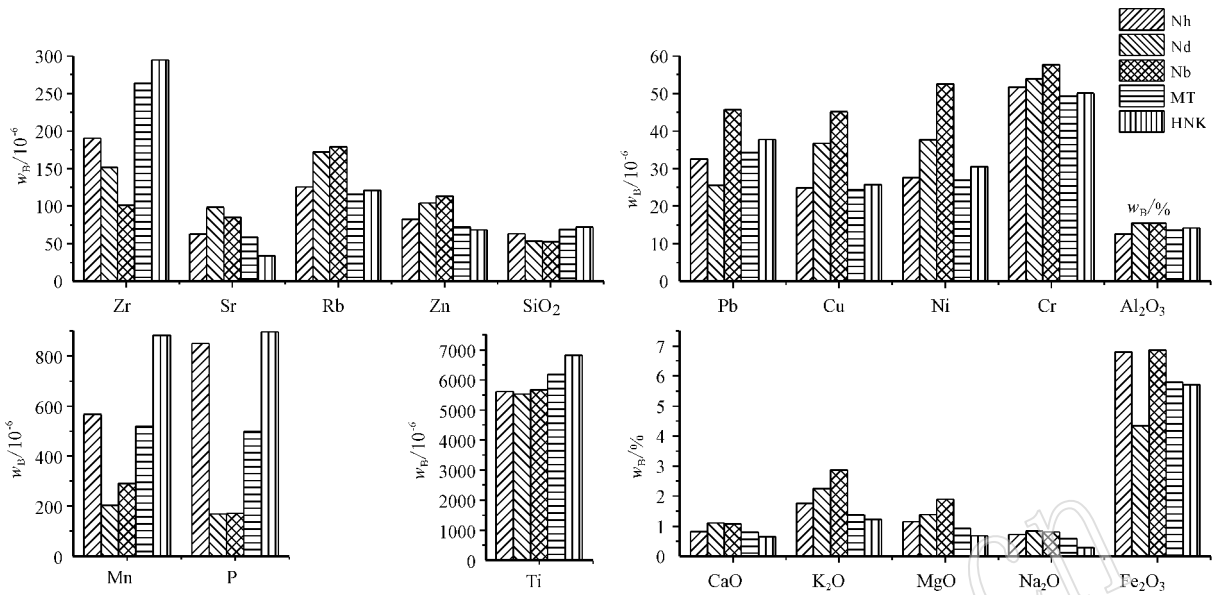


图 7 样品的元素和氧化物平均含量图

Fig. 7 Average content diagram of elements and oxides from samples

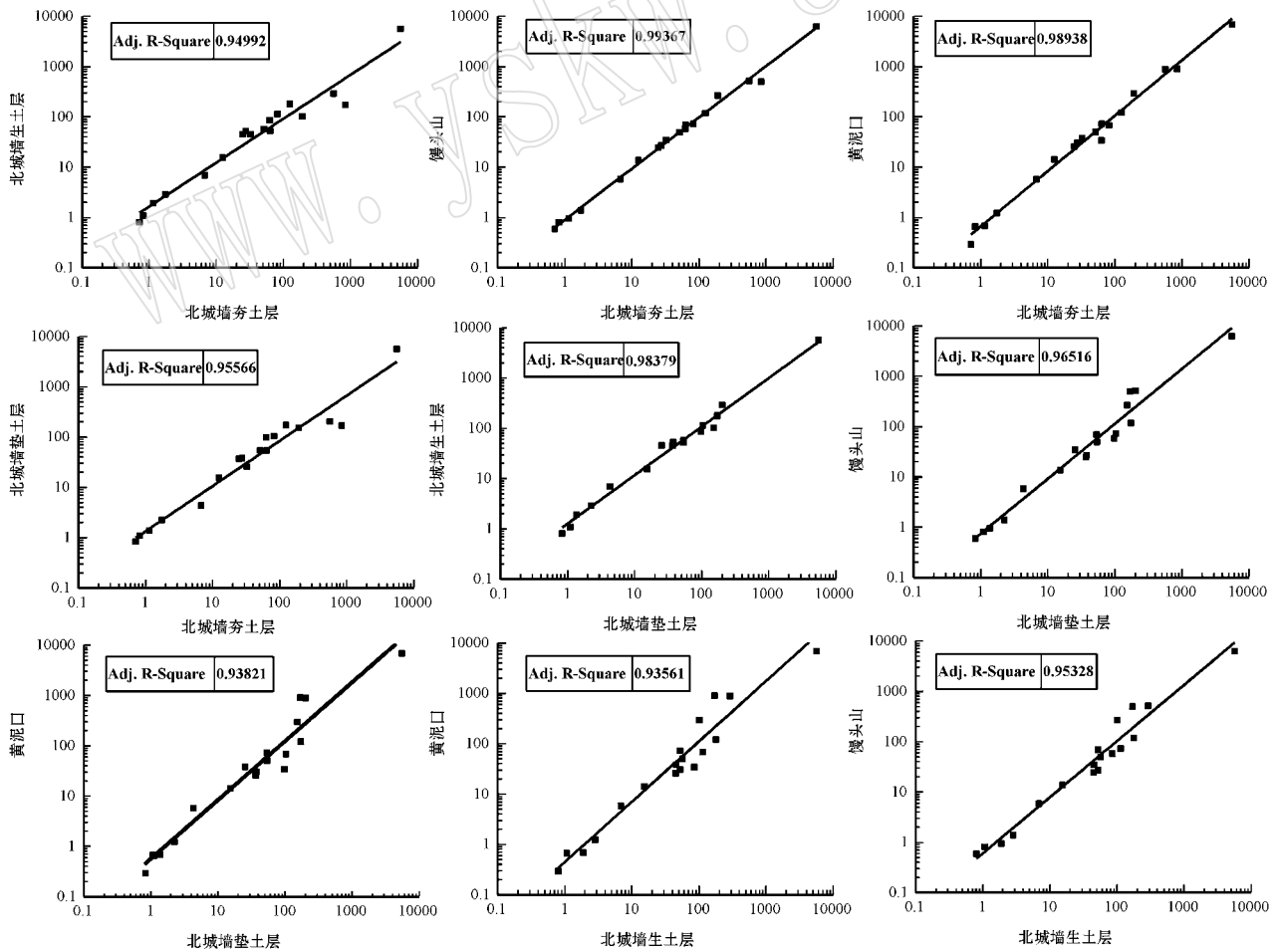


图 8 样品的元素与氧化物含量相关关系图

Fig. 8 Correlation of elements and oxides between samples from the northern city wall, Mantou and Huangnikou mounds

富葆等,1996)和历史传说的支持。相关研究表明,杭嘉湖平原“良渚湾”地区广泛分布着厚度不一的黄粉土。黄粉土的特点是以黄色、黄褐色、浅黄褐色为主,质硬且纯净,夹杂大量的黑、黄锈斑,有水平层理,厚度不一,从90 cm到300 cm不等。宋晓燕(2011)等通过粘土矿物、粒度、磁化率、有机质以及地球化学元素指标对这一层黄粉土进行研究,并与现代洪水沉积物的实验数据相比较,结果表明该层黄粉土确实属于河流(三角洲)相的古洪水沉积物,其来源于东苕溪流域。

由于良渚文化晚期,海平面回升,渐渐进入另一高海面时期。高海面造成河流入海基准面升高,加上暴雨频发,使得陆地水环境发生异常。其所引起的古洪水,不断使先民生存空间缩小,水域面积扩展,最后使得良渚文化迅速衰落和解体。

5 结论

(1)北城墙夯土层粘土矿物含量和组合特征与馒头山、黄泥口土丘一致,都属于伊利石-高岭石-蛭石和绿/蛭混层-蒙皂石组合型;粒度分析显示所有样品粒度组成都相似,均为粘土质粉砂,但平均粒径与分选系数关系图显示,夯土层与馒头山、黄泥口分布范围一致,垫土层和生土层分布范围一致。化学元素相关分析显示,虽然研究区各样品相关性都很好,但北城墙夯土层与馒头山、黄泥口的相关系数最高,达0.99,高于其与垫土层、生土层的相关系数0.95。据此认为,北城墙夯土层的土取自馒头山、黄泥口等自然土丘。

(2)馒头山等自然土丘由于地势较高,经历了较强的氧化作用,而生土层是湖沼相沉积物,地势较低洼,处于弱还原的环境。因此二者的粘土矿物组成和结晶度、化学元素等都不同,主要表现为馒头山、黄泥口沉积物中含蛭石及其混层矿物较多,伊利石的结晶度较低、化学风化指数较高。

(3)生土层由于地势较低洼,处于弱还原环境;土丘馒头山和黄泥口由于地势较高,在氧化环境下沉积物经历了较强的化学风化作用,因此矿物的成熟度较生土层高。所以从矿物的稳定性考虑,馒头山等土丘的物质成分(1.4 nm 粘土矿物主要是蛭石)比生土层(1.4 nm 粘土矿物主要是绿泥石)更为优良,也更适合修筑城墙。良渚先民在就地取区内平原上广泛分布的生土(湖沼相沉积物)为城墙奠定

基础后,并未继续用它来夯筑城墙,而是从附近馒头山等自然土丘上取土来修筑城墙。我们很难说这只是一巧合,更愿意相信这是聪明的良渚先民来自实践经验和智慧的选择。

致谢 浙江省文物考古研究所良渚工作站的祁自立、范畴等帮助采样,研究生宋晓燕、李聪等共同完成了实验分析,在此一并感谢!

References

- Dai Xuerong, Shi Yuxin, Liu Bin, *et al.* 2012. The model of "Five in One" of Holocene sedimentation within Hangjiahu Plain [J]. *Progress in Geography: Science and Society*, 15-16 (in Chinese).
- Diekmann B and Wopfner H. 1996. Petrographic and diagenetic signatures of climatic change in Peri- and postglacial Karoo sediments of SW Tanzania [J]. *Palaeogeog Palaeoclimatol Palaeoecol*, 125: 5-25.
- Li Chuanshun, Shi Xuefa, Gao Shuji, *et al.* 2012. Clay minerals combination's characteristics and source of river sediments in Taiwan [J]. *Science Bulletin*, 2-3(57): 169-177 (in Chinese).
- Liu Bin. 2008. Liangzhu City-site unearthing at the year 2006 to 2007 in Yuhang District, Hangzhou City [J]. *Archaeology*, 7: 3-12 (in Chinese).
- Liu Jinghua, Tian Gang, Wang Zhuwen, *et al.* 2010. On-site γ -ray spectroscopy and data analysis of the radionuclide contents for detecting the Liangzhu Archaic rampart [J]. *Nuclear Techniques*, 4(33): 262-267 (in Chinese).
- Long Hao, Wang Chenhua, Liu Yongping, *et al.* 2007. Application of clay minerals in paleoenvironmental research [J]. *Journal of Salt Lake Research*, 15(1): 21-29 (in Chinese).
- Shi Shaohua. 1993. Climatic abrupt change events and their impact on Human civilization during Holocene mega thermal in China [J]. *Marine Geology and Quaternary Geology*, 13(4): 65-73 (in Chinese).
- Shi Yuxin, Dai Xuerong, Fu Miaomiao, *et al.* 2010. Clay mineral characteristics of SC7 Core sediments from Chenghu Lake (Suzhou) and their paleogeographic significance [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 28(3): 339-343 (in Chinese).
- Shi Yuxin, Dai Xuerong, Song Zhiguang, *et al.* 2005a. Characteristics of clay mineral assemblages and their spatial distribution of Chinese Loessin different climatic zones [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 23(4): 690-695 (in Chinese with English abstract).
- Shi Yuxin, Zhang Weiguo, Dai Xuerong, *et al.* 2005b. Characteristics of clay mineral assemblage of Xiashu Loess and Irpaleo environmental significance [J]. *Marine Geology and Quaternary Geology*, 25(4): 99-103 (in Chinese).

- Song Xiaoyan. 2011. Research on the Yellowish Silt Sediments of Late Liangzhu Culture in the Southwest Hangzhou-Jiaxing-Huzhou Plain [D]. East China Normal University (in Chinese).
- Wang Fubao, Cao Ruiying, Han Huiyou, et al. 1996. Natural environment during Liangzhu culture in Tai Lake Basin [A]. The Twilight of Oriental Culture-Essays Commemorating Liangzhu Culture Discovered for 60 Years (1936~1996) [C]. Haikou: Hainan international News Press Centre, 300~305 (in Chinese).
- Wang Jintao. 2011. Liangzhu City-site Research Based on Geomorphology and Quaternary Methods [D]. East China Normal University (in Chinese).
- Wang Zhanghua and Chen Jie. 2004. Distribution of the neolithic sites in the Changjiang Coastal Plans: Holocene transgression impact [J]. Quaternary Sciences, 24(4): 537~545 (in Chinese).
- Yan Qinshang and Huang Shan. 1987. The evolution of sedimentary environment at Holocene age in Hangzhou-Jiaxing-Huzhou Plain [J]. Journal of Geography, 14(1): 1~14 (in Chinese).
- Yu Bin. 1990. Rookies of padding-vermiculite [J]. Information of Building Materials Industry, 12(1): 13~14 (in Chinese).
- Zhang Li and Liu Shuren. 2002. Geology analysis by using GIS of sites in Pinyao, Liangzhu region, Yuhang City, Zhejiang Province [J]. Archaeology and Technology, 2: 87~93 (in Chinese).
- 刘 斌. 2008. 杭州市余杭区良渚古城遗址 2006~2007 年的发掘 [J]. 考古, 7: 3~12.
- 刘菁华, 田 钢, 王祝文, 等. 2010. 良渚古城墙的地面 γ 能谱测量含量特征分析 [J]. 核技术, 4(33): 262~267.
- 隆 浩, 王晨华, 刘勇平, 等. 2007. 粘土矿物在过去环境变化研究中的应用 [J]. 盐湖研究, 15(1): 21~29.
- 师育新, 戴雪荣, 付苗苗, 等. 2010. 澄湖 SC7 孔沉积物粘土矿物特征及其古地理意义 [J]. 沉积学报, 28(2): 339~345.
- 师育新, 戴雪荣, 宋之光, 等. 2005a. 我国不同气候带黄土中粘土矿物组合特征分析 [J]. 沉积学报, 23(4): 690~695.
- 师育新, 张卫国, 戴雪荣, 等. 2005b. 镇江下蜀土中的粘土矿物及其古环境意义 [J]. 海洋地质与第四纪地质, 25(4): 99~105.
- 施少华. 1993. 中国全新世高温期中的气候突变事件及其对人类的影响 [J]. 海洋地质与第四纪地质, 13(4): 65~73.
- 宋晓燕. 2011. 杭嘉湖平原良渚文化末期黄粉土研究 [D]. 华东师范大学.
- 王富葆, 曹琼英, 韩辉友, 等. 1996. 太湖流域良渚文化时期的自然环境 [A]. 东方文明之光良渚文化发现 60 周年纪念文集 (1936~1996) [C]. 海口: 海南国际新闻出版中心, 300~305.
- 王金涛. 2011. 基于地貌与第四纪方法的良渚古城研究 [D]. 华东师范大学.
- 王张华, 陈 杰. 2004. 全新世海侵对长江口沿海平原新石器遗址分布的影响 [J]. 第四纪研究, 24(4): 537~545.
- 严钦尚, 黄 山. 1987. 杭嘉湖平原全新世沉积环境的演变 [J]. 地理学报, 14(1): 1~14.
- 余 斌. 1990. 填充新秀——蛭石粉 [J]. 建材工业信息, 12(1): 13~14.
- 张 立, 刘树人. 2002. 浙江余杭市瓶窑、良渚地区遗址的遥感地学分析 [J]. 考古与科技, 2: 87~93.

附中文参考文献

- 戴雪荣, 师育新, 刘 斌, 等. 2012. 杭嘉湖平原全新世沉积“五位一体”模式 [J]. 地理学发展: 科学与社会, 15~16.
- 李传顺, 石学法, 高树基, 等. 2012. 台湾河流沉积物的粘土矿物组成特征与物质来源 [J]. 科学通报, 2~3(57): 169~177.