

兴县碧村遗址土壤微形态初步研究^{*}

李春霞¹ 张 海¹ 张光辉² 庄奕杰³

(1. 北京大学考古文博学院 2. 山西省考古研究院 3. 伦敦大学学院考古系)

摘要: 碧村遗址是黄河东岸一处重要的石城聚落, 发现了距今 4000 年前后一套布局规整结构严密的大型门址。本文对碧村遗址城门东门址处建筑的土构部分开展了土壤微形态研究。薄片观察显示, 碧村先民对周边可利用的土料有较为清晰的认识, 有意采集黏土含量较高的褐土用于铺垫和制作土坯, 并且对采集的土料进行了一定程度的处理加工。

关键词: 碧村遗址 土壤微形态 生土建筑 土坯

Abstract: The Bicun site is an important prehistoric stone-walled settlement on the east bank of the Yellow River. We conducted a systematic micromorphological examination of the earthen part of the well-designed eastern gate. Our results show that the people at Bicun had a basic understanding of sediments and soils in this area. They collected brown earth with a higher clay content, which performs better as construction materials, for mudbricks and ground-raising layers. Some treatments may also be done to improve the properties of the earth.

Keywords: Bicun site Soil Earth construction Mudbrick

石城聚落是亚欧大陆北方地区一种独具特色的聚落形态, 其在中国北方地区的出现大约是在公元前 2800 年左右, 并一直延续到青铜时代^[1]。石城聚落在大量使用石材的同时, 也使用土铺垫地坪、黏合石块, 并发展出了土石混筑、石包土等建筑形式。但目前对于其建筑技术的研究主要着眼于石墙营建方式、建筑形式等方面^[2], 还少有研究关注土构部分, 限制了我们对北方地区建筑技术的理解。

土壤微形态分析是研究土构建筑的常见技术手段, 可以提供土料来源和加工技术等方面的丰富信息。例如, 土壤微形态研究确认了灰嘴遗址所见“白灰面”是直接利用了天然的石灰华板^[3], 平粮台遗址的土坯墙被侵蚀后重新涂抹墙皮^[4]等。本文尝试运用土壤微形态分析的方法对山西兴县碧村遗址石砌建筑的土构部分开展研究, 以期获得对龙山时期北方地区建筑技术以及

技术与环境之间关系的进一步认识。

一、遗址简介与区域地貌背景

碧村遗址位于山西省吕梁市兴县碧村村北, 是一处龙山时代至二里头时期早期的石城聚落。城内残存面积 75 万平方米, 应当是蔚汾河流域及周边区域龙山时代晚期的区域中心^[5]。

聚落北、西、南三面临河或沟, 核心区以东有两道城防设施。已发掘的最重要的遗存是小玉梁核心建筑区和外城墙所设东城门。小玉梁的建筑早期为南向土构房屋, 之后修筑了西向石构排房及台地周围的石围墙^[6]。东城门发现目前所见史前时期结构最为规整的门址, 由三个呈“品”字形分布的大型墩台和周边的障墙及门塾组成^[7]。墩台采用石包土的技术, 修筑前普遍铺垫了垫土。半圆形墩台外侧夹墙两端为石砌, 中

^{*}本文系国家重点研发计划项目“中华文明探源研究·北方长城地带文明进程研究”(编号: 2020YFC1521601)阶段性成果。



图一 遗址地貌

间为土坯墙，是目前发掘所见最早的土坯和石砌相结合的案例。

遗址所在的黄土高原北部，黄土广布，沟壑纵横，地貌层级结构明显^[8]（图一）。碧村位于蔚汾河与黄河的交汇处，周边地貌单元由上而下依次为黄土台地、河流高阶地、河流低阶地和河漫滩；遗址坐落在黄土台地之上，与黄河漫滩的高差可达数十米至百米^[9]。

二、研究方法、样品采集及实验室处理

土壤微形态分析借助显微和/或超显微技术对未受干扰的定向样品进行研究，以确定其成分的组成及相互的时间、空间关系^[10]。其操作流程是在田野中采集成块的土壤或沉积物，在实验室内将样品干燥并灌胶硬化后分割成合适大小，固定到载玻片上磨制成厚 $30\mu\text{m}$ 的薄片，然后在显

微镜下对薄片进行观察。

这一方法在考古学研究中获得了广泛的应用^[11]。一方面，对于遗址内外自然沉积及古土壤的微形态研究可以提供气候、植被以及人类活动的多方面的信息，对于理解古环境具有重要意义；另一方面，考古堆积的微形态研究可以观察到田野中肉眼忽视的细小现象和遗物，如微小的动植物遗存和其他与人类行为相关的包含物，丰富了研究资料；且薄片固定了堆积的形态，保留了不同组分之间的空间位置关系，薄片中的现象和遗物可以在其本身的背景(context)下被观察和解释，有助于理解堆积形成过程及埋藏后改变。

本次研究的采样地点位于碧村遗址东城门发掘区，以涵盖不同类型的堆积为原则进行抽样。共采集土壤微形态样品6块，包括城门石墙下垫土（碧村1）、瓮城外夹道土坯（碧村2、3）、F2室内（碧村4）以及瓮城外夹道柱洞内堆积（碧



图二 取样位置及取样照片

(a) 取样位置图，上为东；(b) 石墙下垫土；(c) F2 室内；(d) 瓮城夹墙土坯。

村 5、6)。取样位置和部分采样照片见图二。

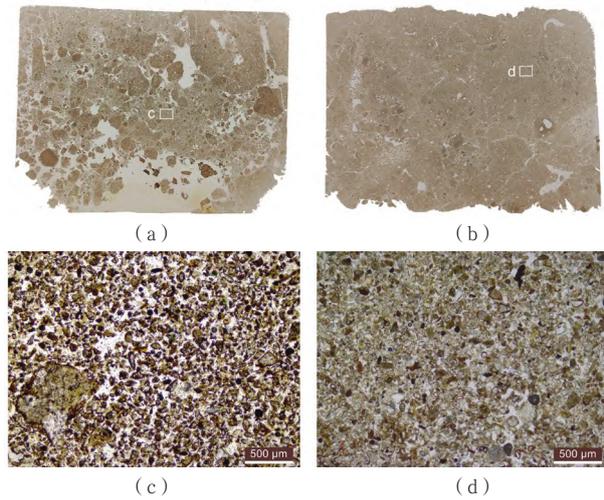
土壤微形态样品由中国地质大学(北京)处理成薄片。每张薄片规格大体为 10cm×10cm，样品大小超过此规格的，分割样品制片，获得薄片 8 张。土壤薄片在偏光显微镜下参照 Stoops^[12]的方法进行观察和记录。

三、土壤微形态观察

各薄片具体描述见文后附表，现将对样品的主要认识总结如下。

柱洞

在瓮城夹道内北部有一排柱洞，打破了原有的夹道空间结构，其形成应晚于墩台和外侧夹墙，具体功能不明。根据薄片观察，两个柱洞内的堆积主要为分选较好的粗粉砂粒级(20~63 μm)矿物颗粒，不见集中的有机质残留，排除木柱在洞内腐朽的可能；柱洞内的堆积整体松散，以柱洞 1 尤为突出，未见特殊处理的迹象，也未见土壤发育的迹象。这说明木柱被拔除之后，时人未对坑洼的柱洞进行进一步处理，当时瓮城夹道结构已被破坏，功能应当已经丧失(图三)。



图三 柱洞薄片扫描及微形态照片

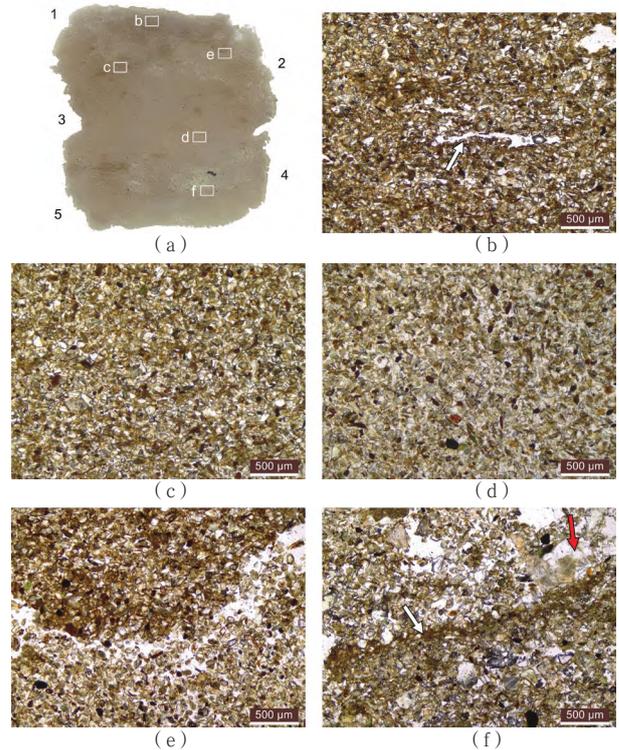
(a)柱洞1薄片,堆积十分松散,方框标注了微形态照片位置,后同;(b)柱洞2薄片;(c)柱洞1基质,颗粒排布松散,PPL(plane-polarized light平面偏振光,下同);(d)柱洞2基质,PPL。

F2室内

瓮城夹道南北两边各有一门塾,南部门塾编号为F1,北侧门塾编号为F2,仅存夹角墙体、室内地面和室内灶。两门塾的室内地面经过了细致的处理,地面坚硬,保存状况较好(图二,c)。

F2室内的薄片可分为5个堆积单元(图四,a)。1、3、5单元的整体矿物颗粒排布紧密,是同一类堆积。1单元、3单元顶部和5单元顶部的黏土含量高(图四,b、c、f),一些矿物大致呈水平分布,并可见横向的细长孔隙(图四,b),这三层应当是室内地面或紧挨地面的最上层垫土,选用粒度较细的土料并进行了细致的处理。3、5单元不甚规整的上边缘应是室内地面在使用过程中受损导致的。5单元顶部的地表结皮指示了地面的活动迹象(图四,f)。2、4单元相较而言矿物排布较为松散,物质分选稍差,4单元还可见大块岩屑,但与人类行为相关的包含物少,仅偶见炭屑及植物残留(图四,e、f)。因此这两层并非堆积在地表的生活垃圾,可能是室内地面损坏后为找平而进行的铺垫,处理相对随意。

微形态研究表明,门塾F2作为整个城门系统的一部分被长期使用,其室内地面经过至少3次铺垫。地面损坏后重新铺垫的流程为:先大致



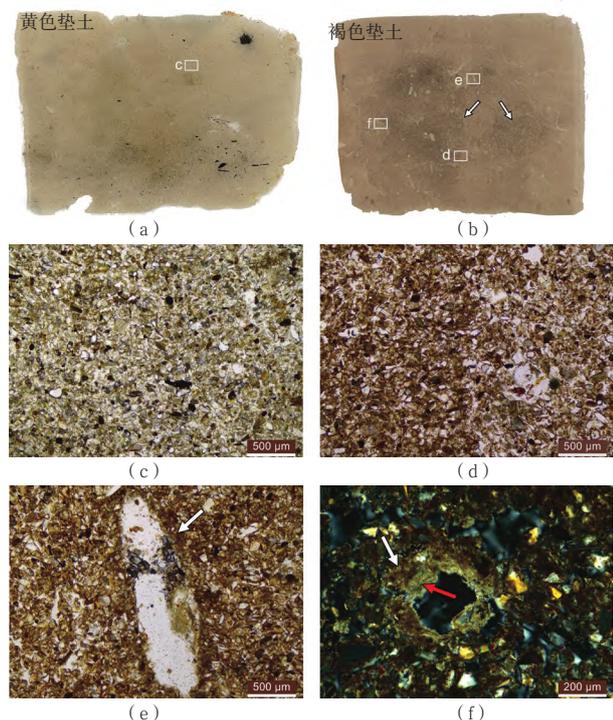
图四 F2室内薄片及微形态照片

(a)F2室内薄片,可分为5个单元;(b)1单元顶部基质,矿物颗粒排布紧密,并有水平状分布的孔隙(箭头),PPL;(c)3单元顶部,黏土含量高,PPL;(d)3单元底部,与顶部相比黏土含量稍低,PPL;(e)1、2单元交界,下为2单元,PPL;(f)4、5单元交界,上为4单元,注意4单元内包含的岩屑(红色箭头)及5单元表面的地表结皮(白色箭头),PPL。

填平坑洼部分,再铺垫较细的垫土形成新的室内地面。

垫土

石墙下的垫土分为上下两层,上层为黄色,下层为褐色,两层垫土交界面有较多炭屑(图五,a)。黄色垫土整体较为均质,以粗粉砂粒级的矿物为主,黏土含量低(图五,a、c)。除少量弱发育的钙质胶膜之外,未见其他土壤特征物。褐色垫土整体黏土含量和孔隙率较高(图五,b),有少量植物残留,且可见尘状黏粒亚胶膜和钙质胶膜等土壤特征物(图五,e、f),体现了一定程度的土壤发育。褐色垫土不均质,薄片可见两块深褐色的区域,与周边分界较为清晰(图五,b)。深褐色部分孔隙率较高,显微镜下观察其黏土含量高于周边(图五,d),土壤特征物也更多,土壤发育程度更高。这两种土应当采自土壤剖面的不同深度或者不同地点发育程度不同的土壤。



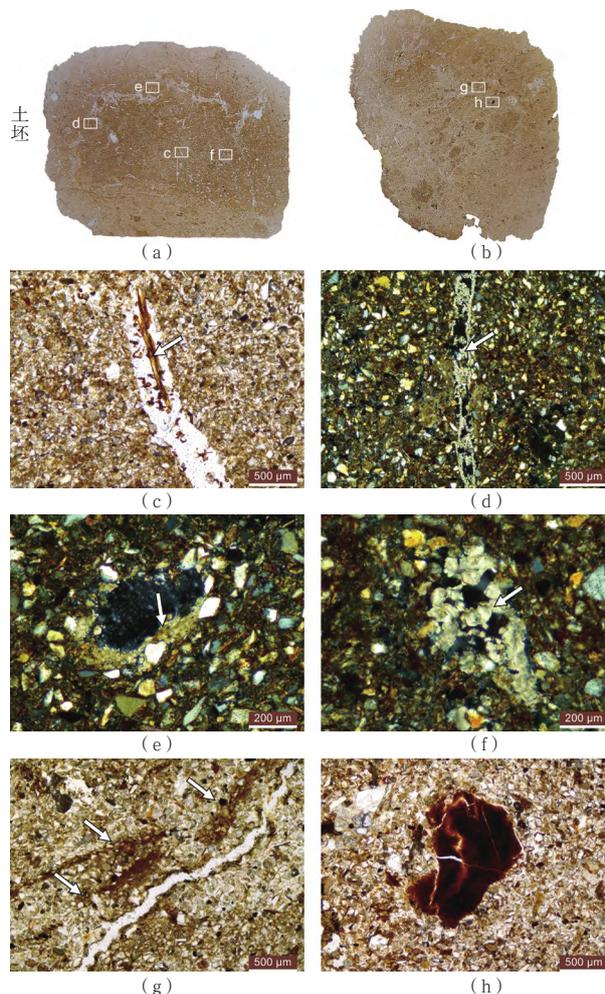
图五 垫土薄片及微形态照片

(a)、(b) 垫土薄片, b 为褐色垫土, 白色箭头指示了深褐色团块; (c) 黄色垫土基质, PPL; (d) 褐色垫土, 左侧为深褐色土块, 右侧为基质, 分界线在图片中线位置, PPL; (e) 褐色垫土中的尘状黏粒亚胶膜 (箭头), PPL; (f) 褐色垫土中的钙质胶膜 (红色箭头) 和尘状黏粒亚胶膜 (白色箭头), XPL (cross-polarized light 正交偏振光, 下同)。

土坯

土坯的粗颗粒部分主要为粗粉砂粒级的矿物, 细粒质黏土比例相对较高。土坯基质与褐色垫土类似, 可能取料自相同的环境。

相较于褐色垫土而言, 土坯的孔隙率较高。土坯 1 中含有较多的植物残留, 许多管状孔隙中可以看到未完全降解的植物有机质残留 (图六, c), 还有一些钙化的植物根部细胞 (图六, d); 此外, 土坯 1 中还有更多的和钙质相关的特征物 (图六, e), 其中一些钙质结核或填充物的晶体颗粒较大, 应是土料中本来存在的, 并非在土坯制备的短期过程中形成 (图六, f)。土坯 2 中可见较丰富的尘状黏粒特征物 (图六, g), 此类特征物的形成与水分的快速移动有关, 在生土建筑中出现往往指示了加水混合土料^[13]。但需要注意的是, 土坯中一些破碎的黏粒特征物及地表结皮不是在土坯加工过程中形成的 (图六, h), 而是



图六 土坯薄片和微形态照片

(a) 土坯 1 薄片; (b) 土坯 2 薄片; (c) 土坯 1 中未完全降解的植物残留 (箭头) 以及其留下的孔道, PPL; (d) 土坯 1 中钙化的植物根系细胞 (箭头), 还基本维持着相连的形态, XPL; (e) 土坯 1 中的钙质胶膜 (箭头), XPL; (f) 土坯 1 中土料原有的钙质特征物 (箭头), XPL; (g) 土坯 2 内部沿狭长裂隙分布的浑浊黏粒特征物 (箭头), 注意特征物周边的黏粒耗减区, 这些均指示了浑浊黏粒特征物是在土坯制作过程中形成的, PPL; (h) 土坯 2 中的黏粒特征物碎片, PPL。

土料本身的特质或包含物。此外, 土坯 2 相较于土坯 1 含有更多的土壤团块。

四、讨论

直接使用原状土, 或仅对原状土进行简单机械加工后作为建筑材料的房屋在建筑学中被称为生土建筑^[14]。这里的生土并非考古学意义上的生土, 可以理解为各类沉积物及土壤的泛称。由于地貌环境、气候背景等方面的不同, 各地的生土

有很大的差异性。为达到理想的效果，人们要在周边环境中选择合适沉积物或土壤，并根据需要进行进一步处理。下面将结合区域环境背景，进一步讨论碧村建筑的土构部分可能的原料来源以及加工技术。

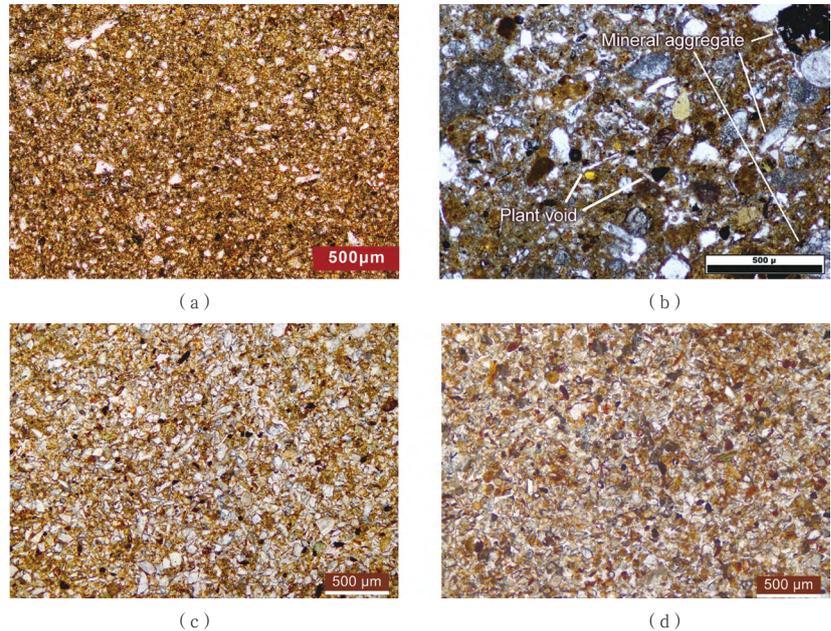
1. 作为建筑材料的生土和碧村土料的来源

作为建筑材料，沉积物或土壤中不同粒径的矿物有不同的作用。小于 $2\mu\text{m}$ 的黏土矿物是土料的粘结性的来源，黏土含量过低会导致强度不够以及无法成型，但黏土的收缩性也会造成建筑表面的裂隙^[15]。合适的黏土与砂的配比是获得良好粘结性、理想的强度和更小的收缩性的关键。

以土坯为例，古罗马土坯的实验考古研究显示黏土含量在12%~16%之间最为合适^[16]；当代欧洲土坯的配比方法之一为14%的黏土，22%的粉砂，62%的砂和2%砾石^[17]。由于薄片观察难以准确测定小于 $2\mu\text{m}$ 的黏土含量，这里将碧村土坯与其他遗址进行过粒度测定的土坯进行对比（图七），可以看到碧村土坯的黏土含量明显低于10%，未达到理想数值。但在碧村薄片中所见的两种土中，土坯所使用的褐色土黏土含量更高，可能已经是遗址周边相对理想的土料。

土料的各方面性质能够通过观察及简单的测试进行判断^[18]，碧村先民应当是在实践过程中认识到了土料之间的差别，更倾向于使用褐色土料。除了被用于制作土坯外，褐色土在碧村东城门处及核心区小玉梁均有铺垫^[19]。

坐落于蔚汾河与黄河交汇处的黄土台地之上，碧村遗址周边区域自然沉积物有风成黄土和河流沉积的粉砂及砂砾石^[20]。遗址所见的黄色土料应该来自黄土堆积，褐色土料可能采自周边弱



图七 碧村与其他遗址土坯对比

(a 引自参考文献^[21]附件图12, b 引自参考文献^[22]图9)

(a) 河南平粮台遗址土坯，土坯原料为周边河流相沉积物，根据粒度测试，黏土含量约在9%~14%之间^[21]；(b) Tel Tsaf遗址土坯，距今约7200年，根据粒度测试，平均黏土含量约为21%^[22]；(c) 碧村遗址土坯1基质，PPL；(d) 碧村遗址土坯2基质，PPL。

发育的土壤。黄土是区域内易得的建筑材料，厚达几十米，广泛分布。而土壤分布较为局限，应当来自于有一定植被覆盖的稳定地表或者埋藏的古土壤，获取的时间和人力成本相对较高。这在某种程度上佐证了褐色土料是被特意选用的。

2. 碧村所见生土营建技术

除选用合适的土壤或沉积物，添加黏土或砂调整粗细颗粒配比之外，处理原状土以及添加其他孳合料是得到理想土料的常见手段。常见的处理方式有碾碎、过筛、搅拌和浸泡等，目的是使土料更加均质、提高含水量以增加土料的粘结性和可塑性；不同的孳合料作用不同，植物纤维和动物的毛发可以减少开裂，石灰、沥青和动物粪便、血液及动植物油脂等的加入能够增加强度^[23]。这些加工处理方法，部分可以通过田野和实验室观察辨析出来。

如前文所述，黄色垫土较为均质，而褐色垫土不均质，这与原材料的性质及对垫土的加工密切相关。黄土本身相对均质，其粒度变化的时间尺度较长，且变化幅度较小；而土壤可能因为

微地貌、植被情况以及位于土壤剖面的不同深度而呈现出明显不同的发育程度和特征。褐色垫土中可见大块的与基质分界清晰的土壤团块，说明在铺垫垫土前并没有对采集的土料进行充分的破碎。同样使用褐色土的土坯中异质性土壤团块较小或整体较为均质，应当对土料进行了一定的破碎和搅拌。在土坯 2 中出现了沿孔隙分布的尘状黏粒聚集，这一特征物的形成在生土营建中与加水湿润并搅拌土料高度相关。

虽然在土坯中添加植物是制作土坯的常见做法，但目前难以断定碧村土坯中所见植物是刻意添加的麝合料。土坯 1 中存在较高比例的植物残留以及相关的孔洞，有添加植物纤维的可能。但土坯 2 中植物遗存并不突出，且褐色垫土中也有一定数量的植物遗存。样品量有限，难以排除这只是偶然的行。其次，在土坯和褐色垫土中均见钙化植物根部细胞，这指示了至少部分植物遗存来自土壤中残留的植物根系。

此外，本次研究的土坯薄片来自两块相邻的土坯，但两块土坯呈现出一些不同的特点。除可能存在的抽样偏差之外，另一种可能是在处理土料时搅拌并不充分，导致不同土坯或者土坯的不同部分呈现出不一样的特征。

我国传统的土坯制作技术有“水脱坯”和“干

打坯”两种：水脱坯是在土料中加水成泥浆，并添加较多的植物纤维以增加拉结力，然后将混合好的泥浆挤入模具，干燥后成型；干打坯则是将湿润的土料在模具中压实成型，流行于北方地区^[24]。碧村的土坯制作应当采用的是类似干打坯的方法，对黏土含量稍高的褐色土料湿润后进行简单搅拌，然后在模具中压制成土坯。

五、结 语

土壤微形态观察为我们提供了碧村遗址东城门处建筑土构部分的丰富细节信息。我们的研究表明碧村先民对于聚落周边可供使用的沉积物及土壤的性质有较为充分的了解，并能根据建筑不同位置的土料需求获取特定的原料，并进行不同的处理。

需要说明的是，对于生土建筑的研究有赖于实验考古以及与可能的原料进行对比。如果能在碧村周边采集不同的沉积物及土壤样品，并使用这些样品进行制作土坯、铺垫垫土的实验，对比使用不同原料、是否添加植物麝合料以及不同混合程度的土料在薄片中的形态，当有助于我们对于当时的生土营建技术做出更准确的判断。

附表

碧村遗址东城门处样品土壤微形态描述

薄片	单元	微结构	孔隙 (%)	粗细比例 (20 微米为分界)	粗颗粒物	有机质和炭屑	土壤特征物	备注
柱洞 1		主要为松散的粗粉砂粒级矿物及少量细碎的炭屑，偶见粗砂粒级的岩屑，柱洞 1 中异质性土壤团块尤为丰富。						
柱洞 2								
垫土	黄色	壁状微结构 (massive structure)，并有一些裂隙 (crack)	2~3	65:35	主要为分选好的粗粉砂 (20~63 μm) 粒级矿物，少量中砂粒级 (212~600 μm) 矿物，偶见粗砂粒级 (600~2000 μm) 岩屑	2%~3% 炭屑	1% 钙质胶膜	两层垫土交界面有一层不连续分布、大致呈水平分布的炭屑
	褐色	轻微发育的孔道状 (channel) 和裂隙状 (crack) 微结构	5	50:50	主要为分选好的粗粉砂粒级矿物，少量中砂粒级矿物，偶见岩屑；可见大块深色团块	2%~3% 有机质及炭屑	2%~3% 钙质胶膜，1% 尘状黏粒亚胶膜	

续表

薄片	单元	微结构	孔隙 (%)	粗细比例 (20微米为分界)	粗颗粒物质	有机质和炭屑	土壤特征物	备注
瓮城夹墙土坯	土坯	孔道状微结构, 并有一些大的裂隙和腔 (chamber)	8~10	50:50	主要为分选好的粗粉砂粒级矿物, 少量中砂粒级矿物	2% 炭屑; 3%~4% 的有机质残留, 多数为孔隙中的植物残留	1% 尘状黏粒亚胶膜和 2%~3% 钙质胶膜, 2% 钙质结核, 晶体颗粒较大, 可能为土料中原有的	土坯和垫土交界面有多层水平分布的黏粒聚集条带
	其下垫土	轻微发育的孔道状微结构	2~3	60:40	主要为分选好的粗粉砂粒级矿物, 少量为细长条, 偶见异质性土壤团块	1%~2% 炭屑及有机质残留	无明显土壤特征物	
瓮城夹墙土坯 2		轻微发育的次棱块状 (subangular blocky) 微结构, 和一些大的腔和管孔	8~10	50:50	主要为分选好的粗粉砂粒级矿物, 少量中砂粒级矿物, 偶见粗砂粒级的岩屑, 较多异质性土壤团块	2% 炭屑, 1%~2% 有机质残留, 多数为孔隙中的植物残留	1%~2% 钙质胶膜; 3%~4% 尘状黏粒条带 / 聚集, 部分为被打碎的碎片, 可能为土料中原有的; 1% 轻微至中度浸润的铁锰结核	
F2 室内	1	壁状微结构	1~2, 一些水平状分布的长孔隙	50:50	主要为分选好的粗粉砂粒级矿物, 偶见细砂粒级的矿物, 矿物颗粒分布密集	1%~2% 炭屑	无明显土壤特征物	
	2	轻微发育的次棱块状微结构	4~6	60:40	分选好的粗粉砂粒级矿物, 偶见中砂粒级的岩屑和异质性土壤团块	2% 炭屑及残留在孔隙之中的植物遗存	无明显土壤特征物	
	3	顶部和 1 单元类似; 下部黏土含量较低, 粗颗粒矿物分选十分均匀						
	4	粒状 (granular) 微结构	10	65:35	可见粗砂粒级的原地破碎的岩屑和大块炭屑		无明显土壤特征物	
	5	同 1 单元, 但顶部有一些较大的矿物						

[1] 韩建业:《试论作为长城“原型”的北方早期石城带》,《华夏考古》2008年第1期。

[2] 李小龙:《北方地区史前时期石城聚落墙体建造技术研究》,《华夏考古》2020年第1期。

[3] Macphail, R.I., and John C., “Soil Micromorphology, Chemistry and Magnetic Susceptibility Studies at Huizui (Yiluo Region, Henan Province, Northern China), with Special Focus on a Typical Yangshao Floor Sequence,” Bulletin of the Indo-Pacific Prehistory Association, 2007, 27: 93-113.

[4] Li C., Cao Y., Zhang C., et al., “Earliest ceramic drainage system and the formation of hydro-sociality in monsoonal East Asia,” Nature Water, 2023, 1(8): 694~704.

[5] a. 山西省考古研究所、北京大学考古文博学院、山西

大学考古文博学院:《山西兴县碧村遗址》,《中国文物报》2023年2月17日第7版。b. 王晓毅、张光辉:《兴县碧村龙山时代遗存初探》,《考古与文物》2016年第4期。

[6] 山西省考古研究院、山西大学考古学院、兴县文化和旅游局:《山西兴县碧村遗址小玉梁台地西北部发掘简报》,《考古与文物》2022年第2期。

[7] 同[5]a。

[8] 尤联元、杨景春主编:《中国地貌》,科学出版社,2013年。

[9] 王辉、王晓毅、张光辉等:《山西兴县碧村遗址聚落选址的地貌背景》,《南方文物》2021年第5期。

[10] Stoops G., Guidelines for Analysis and Description of Soil and Regolith Thin Sections, Second edition, Hoboken, NJ:

(下转第130页)

- [14] 同 [7], 第 104~105 页。
- [15] Kabukcu C., Chabal, L., 2021. Sampling and quantitative analysis methods in anthracology from archaeological contexts: Achievements and prospects. *Quaternary International*, 593: 6~18.
- [16] Dufraisse A. 2006. Charcoal anatomy potential, wood diameter and radial growth. In: Dufraisse A (ed). *Charcoal analysis: new analytical tools and methods for archaeology*. BAR Int Ser 1483, Oxford, 47~60.
- [17] Théry-Parisot I., Chabal L., Chravzev J., 2010. Anthracology and taphonomy, from wood gathering to charcoal analysis. A review of the taphonomic processes modifying charcoal assemblages, in archaeological contexts. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 291(1-2): 142~153.
- [18] 陕西省农牧厅:《陕西农业自然环境变迁史》, 陕西科学技术出版社, 1986 年, 第 273 页。
- [19] 桑广书:《黄土高原历史时期植被变化》,《干旱区资源与环境》2005 年第 4 期, 第 54~58 页。
- [20]《山西森林》编辑委员会:《山西森林》, 中国林业出版社, 1992 年, 第 97 页。
- [21] 比强度是指材料的强度与其体积密度之比。它是衡量材料轻质高强的一个主要指标。
- [22] 王树芝、王增林、何弩:《陶寺遗址出土木炭研究》,《考古》2011 年第 3 期, 第 91~96 页。
- [23] 王树芝、王倩倩、王忠信、梁官锦、齐乌云、任晓燕:《金禅口遗址齐家文化中晚期木炭遗存指示的木材利用和生态环境》,《农业考古》2016 年第 1 期, 第 9~15 页。
- [24] 山西省考古研究院、山西大学考古学院、兴县文化和旅游局:《山西兴县碧村遗址小玉梁台地西北部发掘简报》,《考古与文物》2022 年第 2 期, 第 35~50 页。
- [25] 王晓毅、张光辉:《兴县碧村龙山时代遗存初探》,《考古与文物》2016 年第 4 期, 第 80~87 页。
- [26] 同 [3]。

(上接第 103 页)

- Wiley-ACSESS, 2021.
- [11] Nicosia C., Stoops G., eds., *Archaeological Soil and Sediment Micromorphology*, Hoboken, NJ: Wiley, 2017.
- [12] 同 [10]。
- [13] Friesem D.E., Warrez J., Onfray M., “Earth Construction Materials,” *Archaeological Soil and Sediment Micromorphology*, ed. by Cristiano Nicosia and Georges Stoops, Hoboken, NJ: Wiley, 2017: 99~110.
- [14] 穆钧:《生土营建传统的发掘、更新与传承》,《建筑学报》2016 年第 4 期。
- [15] Minke G., *Building with Earth: Design and Technology of a Sustainable Architecture*, Berlin, Boston: Birkhäuser, 2006.
- [16] Quagliarini, E., and Stefano L., “The Influence of Natural Stabilizers and Natural Fibres on the Mechanical Properties of Ancient Roman Adobe Bricks,” *Journal of Cultural Heritage*, 2010, 11(3): 309~14.
- [17] 同 [15]。
- [18] a. 同[15]。 b. Emiroğlu M, Yalama A, Emiroğlu Y. “Performance of ready-mixed clay plasters produced with different clay/sand ratios,” *Applied Clay Science*, 2015, 115: 221~9.
- [19] 同 [6]。
- [20] 同 [9]。
- [21] 同 [4]。
- [22] Rosenberg D., Love S., Hubbard E., et al., “7,200 years old constructions and mudbrick technology: The evidence from Tel Tsaf, Jordan Valley, Israel,” *PLoS One*, 2020, 15(1): e0227288.
- [23] 同 [15]。
- [24] 李广林:《中国传统生土营建工艺演变与发展研究》, 北京建筑大学硕士学位论文, 2020 年。