

DOI:10.16143/j.cnki.1001-9928.2025.04.003

# 古代夯土建筑技术研究述评

## ——兼及商代夯土建筑技术研究的进展与前景<sup>\*</sup>

谷天赐<sup>1</sup> 宋国定<sup>2</sup>

(1. 南开大学历史学院考古学与博物馆学系, 天津市 300350; 2. 北京联合大学文化遗产卓越工程师学院, 北京市 100191)

**关键词:** 古代建筑; 夯土建筑技术; 商代; 夯土建筑基址**摘要:** 本文通过梳理夯土类建筑技术的研究现状, 结合商代夯土建筑基址的考古发现与研究成果, 发现商代都邑遗址夯土建筑基址的研究在内容、视角、侧重点、深入程度和多学科综合研究等方面均存在明显差异, 并认为在夯筑技术研究中多学科分析及对比研究将是今后探索的重点。**Keywords:** ancient architecture; rammed earth construction techniques; the Shang Dynasty; rammed earth architectural foundations**Abstract:** This article reviews current researches on rammed earth construction techniques and synthesizes archaeological discoveries and studies of rammed earth architectural foundations of the Shang Dynasty. It is found that there are significant disparities in research content, perspectives, emphases, depth of inquiry and interdisciplinary approaches across studies of rammed earth foundations in urban centers of the Shang Dynasty. The article further argues that multidisciplinary analysis and comparative research will be pivotal in future investigations of rammed earth construction techniques.

夯土建筑基址是中国历史时期发现数量较多且意义重大的遗迹之一, 其规划布局、设计理念与技术工艺, 是当时社会生产力、文化与科技发展的集中反映与真实写照。夯土技术作为中国传统土木建筑技术体系的重要组成部分, 延续时间很长, 郑州西山遗址<sup>[1]</sup>、西安半坡遗址<sup>[2]</sup>等考古发现表明, 早在仰韶文化时期, 先民就已经初步掌握了利用夯土进行建筑构建的先进技术。发展至明清时期乃至现代, 夯土虽已不作为主要的建筑形式, 但仍在长城修复、城墙复原、寨墙、界墙和农村地区房屋地基处理等特定的建筑类型中有所应用。

商代夯土建筑的考古发掘与研究起始

时间早, 且产出了丰硕的学术成果。郑州商城、偃师商城、郑州小双桥、湖北黄陂盘龙城、安阳洹北商城和安阳殷墟等商代都邑性遗址中夯土建筑基址的发现, 填补了商代建筑史研究的空白, 对于了解当时的城市布局、建筑技术、人居环境和社会文化等诸多方面都具有重要意义。目前, 考古学界对上述遗址的建筑基址和夯土技术等问题已经开展了一定数量的研究工作, 为进一步开展深入研究奠定了良好的基础。

基于此, 本文拟在系统归纳国内外夯土建筑技术研究现状的基础上, 对商代夯土建筑的考古资料和相关研究成果进行梳理, 并进一步思考商代夯土建筑技术的研究前景。

<sup>\*</sup> 本文系科技部国家重点研发计划项目“公元前1500年至公元前1000年中华文明早期发展关键阶段核心聚落综合研究·黄河流域商早期都邑综合研究”(课题编号: 2022YFF0903601)研究成果。

## 一、古代夯土建筑技术的研究现状

### （一）基于文献的建筑史研究

目前对夯土建筑工艺与技术的研究主要依赖考古学者对夯土遗址的遗迹现象、形制结构进行解读和还原。不过,也有学者着眼于不同时期有关建筑营造技术的典籍、文献,从建筑史的角度考证、梳理并归纳了古代夯土建筑的工艺技术与营造制度。

《营造法式》《工程做法则例》等建筑典籍是如今研究中国古代建筑的圭臬之作,记载了大量传统建筑的营造工艺、用料与模数制度,其中对城墙、基础等土质建筑部位也有较多涉及。

早期研究学者以梁思成、潘谷西等为代表,通过调研现存土质建筑,梳理《营造法式》《工程做法则例》中的营造技术、施工工艺及相关法式,以还原不同等级墙体的高厚比、收分制度、加筋方式和夯筑工艺等<sup>[3]</sup>。在此基础上,裴强强等从大量传统夯土遗址的调查和保护实践中总结经验,将洮州卫城、嘉峪关长城城墙等夯土遗址的实际调查数据与《营造法式》中“筑基、筑城、筑墙”的工艺技法 and 营造制度结合,分析、考证并对比量化了传统夯筑工艺遵循的模数制度和夯土结构特征,印证阐释了夯土结构中永定柱、夜叉木、木楔和草绳等加筋方式<sup>[4]</sup>。

### （二）夯土建筑技术的考古学研究

夯土建筑技术在我国古代建筑中使用广泛、历史悠久,在建筑史研究中具有重要意义。学界对传统土作建筑的工艺开展了相应研究,张虎元等通过考察典型生土建筑遗址的施工技术和建造方法,将我国古代土工建造方法归纳为挖余法、夯土法、垛泥法、土坯砌筑法和生土块法,其中从材料、工具、施工技术等方面详细介绍了堆筑、版筑两种夯土方法<sup>[5]</sup>。薛程分别对版筑、堆筑、土坯

三类长城墙体的建造技术进行论述,系统梳理了史前到历史时期长城遗址中不同类别土质墙体的夯筑工艺及其发展脉络,对复原夯土墙体的建造过程具有重要意义<sup>[6]</sup>。

版筑是夯土建筑中应用最为广泛的一项技术。目前学界对长城、城墙类夯土遗址版筑技术的研究相对丰富,在梳理各时期遗址内版筑墙体遗迹现象的基础之上,形成了较为清晰的技术起源与发展脉络<sup>[7]</sup>。景爱等结合遗迹现象与典籍记载,对不同时期长城墙体夯筑的施工方法进行了总结归纳,论述了整治墙基、埋永定柱、使用客土和设置散水等有效增强长城墙体坚固性的办法<sup>[8]</sup>。李秀珍以夯土版筑技术在秦代宫殿、秦陵、秦俑坑及长城等建筑工程中的应用为引,系统梳理了中国古代夯土版筑技术的产生与发展脉络,将其分为起始期、发展期、成熟期和延续期四个阶段<sup>[9]</sup>。徐珂等对良渚古城的城墙结构以及“铺底垫石”工艺进行工程技术分析,探讨了先民利用自然进行工程实践的技术水平和施工能力<sup>[10]</sup>。

夯筑工具也是夯土建筑工艺研究中的重要一环,夯具的变化直接影响着夯筑的效果,也与不同时期的生产力和建筑营造水平密切相关。从夯窝的形状分析,较早发现有夯筑工艺的仰韶文化时期郑州西山遗址、西安半坡遗址中,可能采用了大而重的天然河卵石作为夯锤。但伴随着夯筑技术的发展,夯筑工具的选取也产生了一定变化,此后陆续出现的集束夯、荆条夯或细木夯等工艺所使用的夯具,均是通过减少受力面积,有效地提高了夯筑的效果。可见不同时期夯具的选择和使用与当时生产力的发展水平是紧密相关的,其演变也充分反映了传统夯筑技术的发展变迁。

裘锡圭先生在《释“建”》一文中将甲骨文“建”字字形释读为如“一人用杵夯筑

土层”<sup>[11]</sup>。基于此,左勇通过对取自当时建筑形象的甲骨文象形字、会意字进行字形分析,深入了对圭门、夯土等商代建筑技术的认知,认为《金匱论古初集》中提及的1件石棒可能是夯土所用的石杵<sup>[12]</sup>。薛程对史前到历史时期夯头的发展开展了系统研究,通过梳理不同时期夯头形制和材料的变化,一定程度上掌握了各时期夯土墙体修建过程中的基本技术特点<sup>[13]</sup>。贾宇航等通过调研、室内土工试验、现场模拟等方法对良渚时期的夯筑工具进行探讨,认为良渚时期莫角山沙土广场上的夯窝是由木质集束的圆柱形圆底夯具夯筑而成<sup>[14]</sup>。

### (三) 夯土建筑的多学科综合研究

除了上述传统考古学研究之外,科技分析手段的加入亦有助于了解和掌握夯土建筑的成分、结构、力学性能等特征,从而进一步丰富夯土成分配比、建造工艺等方面的认识。

#### 1. 夯土原料的成分组成与物料来源

为了更好地把握不同时期夯土材料的成分组成与配比,学者们从物理性质、粒度、矿物成分、微结构和地球化学等角度,对古代夯土成分、性质、物料来源以及胶结材料的使用等问题开展了相应的科技分析。目前,这些方法主要应用于国外的一些夯土类文化遗址的研究中。例如,Parracha等在对葡萄牙南部12世纪的帕德尔那城堡夯土的研究中,通过综合运用岩相鉴定、扫描电镜-能谱、粒度分析和热重分析等方法,确定了夯土材料的成分特性(矿物成分和黏结剂),进而评估了夯土样品的矿物学和微观结构性,发现夯土的基质主要由黏土和石灰的混合物组成,并未包含能够提高墙体力学性能的陶瓷碎片<sup>[15]</sup>。Jo等通过分析韩国江华13世纪堡垒的物理、矿物学、粒度学和地球化学特性,确定了其夯土墙的建筑技术特点,解

释了夯土材料与堡垒周围采集的基岩、表土和地下土之间的相互均质性,表明它们具有共同的物质来源<sup>[16]</sup>。Daoudi等考察了摩洛哥马拉喀什的巴迪皇宫夯土及其涂层材料的粒径、化学和矿物学等特性,用以评估萨阿迪亚时期(16世纪)宫殿建造的技术和夯土的物料来源,夯土、涂层材料和当地原材料之间的成分差异表明这两种建筑材料的来源不同<sup>[17]</sup>。这些科技方法的应用和已有分析结果为进一步探究夯土类建筑的物料来源和建造技术提供了重要参考。

国内在夯土建筑技术的科技分析方面也开展了一定研究,如袁润等使用传统的配制方法和工艺仿制焦山古炮台夯土,并充分利用力学性能分析、成分分析、X射线衍射分析等方法,模拟复原了古代夯土的成分配比和夯筑工艺<sup>[18]</sup>。周华等运用X射线衍射、激光粒度、崩解试验等手段分析了圆明园舍卫城遗址夯土的矿物成分和理化性质,在明确夯土工艺技术的基础上提出了相应的保护措施<sup>[19]</sup>。胡薪苹<sup>[20]</sup>、揭小娟<sup>[21]</sup>、赵钦<sup>[22]</sup>等从黏土矿物X射线衍射和环境磁学分析的角度使用粒度、元素地球化学分析等方法,分析了良渚古城城墙土的成分特征,并探讨了其物质来源,认为良渚先民在就地取生土奠定基础后,会从附近的自然土丘上选取更适合建筑的土来修筑城墙。

#### 2. 夯土中的掺合物和胶结材料

石灰、料姜石、糯米浆和植物根茎等改性材料,在传统土质建筑中应用广泛。如添加石灰可提高墙体的强度与承载力;糯米浆、植物根茎等则能改善砂土的黏聚力,从而有效地改善夯土墙体的力学性能<sup>[23]</sup>。我国古代土质墙体胶结材料经历了由黏土、料姜石等天然材料,到石灰、三合土、有机物复合材料的四个时期,其独特性在于有机-无机物复合材料在砌筑中的应用<sup>[24]</sup>。

对夯土建筑掺合物及胶结材料的研究主要围绕植物枝条、石灰、料姜石和糯米灰浆等展开。沈旻等在对大同镇段明代夯土长城的建造特征与建造技术的研究中,认为夯层间掺杂的沙砾碎石、铺设植物枝条起到了连结和加强的作用<sup>[25]</sup>。水碧纹在统万城、辽上京皇城、白杨沟遗址的研究中发现,灰土材料夯土建筑中方解石成分的含量较高,认为石灰的添加可以显著提高夯土的理化性质<sup>[26]</sup>。陈平等通过对榆林城墙土样的化学成分分析,认识到料姜石材料的使用对城墙土体结构性能的改善具有明显的作用<sup>[27]</sup>。糯米灰浆是古代中国所特有的一种材料,能够有效地改善土体的硬度和韧性,早在4700年前新石器时代的白灰面中就已发现有糯米成分的添加,而其在历史时期,尤其是宋元时期及以后的夯筑灰土中更是有广泛的使用<sup>[28]</sup>。张秉坚等对古代建筑材料中糯米浆等添加物的起源与发展问题展开了深入探索,从胶结材料的角度对各时期建筑灰浆中所添加的糯米成分等有机添加物开展过系统的分析研究。他们综合运用多种仪器分析和模拟实验方法,在由黄土、石灰、河砂配制而成的古代三合土的物理性能、成分配比、科学机理等方面形成了一系列比较成熟的研究范式和成果<sup>[29]</sup>。

### 3. 夯土建筑技术和工程量的模拟实验

模拟实验通过重现夯土建筑的制作过程,能够为复原施工技术和工艺细节提供具体参考。为探究大型夯土建筑基础部位的修建方式,韩蕙如通过开展模拟实验,验证了先挖整个基坑再在基坑内分块夯筑基础单元,以及分小区域依次挖出基坑并夯筑每个基础单元这两种夯筑方式的可行性。此外,她还对比了不同夯具的夯打质量和效率,证明集束夯的夯打质量较高但效率有限,石质夯具的夯打效率最高<sup>[30]</sup>。

夯土建筑的工程量和劳动力需求能够反

映相应时期建筑工程的规模和复杂性,以及劳动力的利用情况。这有助于研究古代社会的劳动分工和劳动力资源的分配,进而揭示当时的社会生产力发展水平和社会组织结构。谢礼晔等通过开展夯土模拟实验等方法量化了影响夯土质量的因素,设计并研发了一种适用于古代夯土建筑的劳动力估算方法,可以基于夯土建筑遗址的实际背景和工程质量,较为准确地估算所需劳动力。并以陶寺和二里头遗址为例,探讨了夯土建筑所需劳动力的成本以及其所蕴含的社会意义<sup>[31]</sup>。

上述有关夯土成分、性质的研究案例主要聚焦于年代偏晚的历史时期的长城、城墙等遗址类型,通过运用扫描电子显微镜、X射线衍射、元素地球化学分析等实验手段获取夯土材料的成分信息,结合模拟实验等手段,从而对特定类型或遗址夯土墙体的物质来源、原料配比和夯筑工艺进行解读和复原,为夯土建筑的保护和传承提供了重要的参考。

## 二、商代都邑夯土建筑的发现与研究

商代夯土建筑的发现与考古学研究肇始于1928年对安阳小屯遗址的科学发掘,迄今在郑州商城<sup>[32]</sup>、偃师商城<sup>[33]</sup>、小双桥<sup>[34]</sup>、盘龙城<sup>[35]</sup>、洹北商城<sup>[36]</sup>和殷墟<sup>[37]</sup>等遗址中均有相当数量的重要发现,是都邑性遗址考古学研究中不可忽视的组成部分。相关研究伴随着中国现代考古学的发展而不断深入,始终是夏商周时期考古学的关键问题与核心内容,至今已形成了相当完备的研究体系,并取得了丰硕的研究成果,基本厘清了遗存的形制特征与文化面貌,以及建筑发展演变的时空脉络。

### (一) 夯土建筑基址的考古发现与研究

目前学界对于商代夯土建筑的研究通常

侧重于对田野调查、发掘材料分析和历史文献梳理,主要关注建筑的形制、布局、性质与复原以及建筑技术等方面。

对建筑形制的探讨始于石璋如在安阳小屯建筑基址研究中对基、础、门、阶等建筑部位的讨论,其首次揭示了商代大型建筑的基本特征,对此后建筑基址类遗迹的发掘与研究产生了重要影响<sup>[38]</sup>。更深入的形制研究以郭明对黄河流域、长江流域商周时期建筑的考察为代表,在对建筑的整体形制及局部结构进行分类的基础上探讨了各类建筑的性质与功能,并对其时代、地域性变化进行了规律性的总结<sup>[39]</sup>。韩蕙如则以基址结构与建筑形态为主要研究内容,辨析并总结了夏商周时期夯土建筑基址结构和平面分布形态的时代特征<sup>[40]</sup>。

商代建筑的复原工作主要是基于对发掘所见的夯土基础、柱础等遗迹和甲骨文、文献记载中的房屋形象进行分析研究,并结合民族学调查而开展的。此前研究多以有建筑学科背景的建筑史学家主导,如杨鸿勋等学者通过对大量商代建筑开展复原研究,归纳、总结了商代建筑形制、技术等方面的发展演变情况。如今,基于GPS、RTK、GIS等地理空间定位系统所获取的遗址详细信息,加之虚拟模型、数据化分析等新兴手段的综合应用,进一步加强了对遗址建筑布局、形制的宏观把握。

建筑性质的研究历来是考古学界关注的重点,主要包括建筑的年代、功能、族属等因素。但受限于建筑年代久远,保存状况、发掘辨认、资料刊布及学科交叉情况等问题,目前对商代建筑性质的判断多是基于推测的初步认识,研究仍存在较大困难。

建造技术与社会生产力的发展密切相关,是建筑史与考古学研究的重要问题,但此前专门性的研究成果相对匮乏。早期学者

对商代夯土建筑技术的研究主要可分为考古学和建筑史两种研究路径。一方面,是由考古学者通过解读发掘过程中的遗迹现象及其结构形制来总结建筑的建造过程,并与先秦时期的文献典籍记载相互参证。如王慎行从甲骨文字形和典籍记载入手,考证了商代广泛使用的夯土术、版筑土墙术、木架结构、日影定向、以水测平等土木建筑技术以及建基置础、立柱架梁、筑墙盖顶等宫室建筑程序,认为商代夯土术的基本方法是土方工程和坚土技术的综合利用<sup>[41]</sup>。另一方面,则是建筑史学家在建筑复原的基础上对技术发展脉络的梳理,如杨鸿勋对中国各时期宫殿建筑营造技术发展的整理与总结<sup>[42]</sup>。

近年来,建筑技术层面的研究较以往受到了学界更多关注,随之也出现了相应的专门研究,如李栋对夏商周时期的房屋建筑技术开展了综合分析,基本厘清了这一时期建筑技术的特点及其发展演变的轨迹和趋势<sup>[43]</sup>。此外,在对商代建筑基址开展的系统研究中也更多地将房屋的建筑技术纳入考察,如辛宇<sup>[44]</sup>、师东辉<sup>[45]</sup>等在对殷墟建筑遗存的研究中分析了房屋基础处理、墙体筑造、屋顶营造样式等方面的建筑程序与建筑技术,进一步丰富了该领域的研究成果。

### 1. 商代早期

郑州商城此前工作主要关注宫殿区建筑的性质、复原、分期编年,建筑的布局与营建过程,以及建筑结构、材料等问题。杨鸿勋<sup>[46]</sup>、程平山<sup>[47]</sup>曾对商城内C8G15、C8G16及一段残存夯土台基开展过讨论,认为上述三处基址可能用作宫殿、仓储等。袁广阔、朱光华从形制结构、建造过程、祭祀习俗等方面对郑州商城内发现的少量小型房基进行了较为全面的考察<sup>[48]</sup>。

关于偃师商城的研究,王学荣、杜金鹏<sup>[49]</sup>、杨鸿勋<sup>[50]</sup>等著文详述了偃师商城宫殿区建

筑基址的所属年代、平面布局、层位关系和基本特征等,并细化研究了各基址的具体功用。通过将主要建筑划分为朝、寝、宗庙和东厨等功能区域,他们认为偃师商城已经初步形成了宫庙分列、前朝后寝、庖厨独立等制度。

### 2. 商代中期

郑州小双桥遗址发现大型夯土建筑基址、高台建筑基址、宫城城墙和水井等商文化遗存,但受限于夯土基址的保存状况,建筑复原等研究工作的开展较为困难。侯卫东对小双桥都邑的整体布局和部分夯土建筑的性质、布局进行了探索,认为其由内到外具备“宫城”“城区”“郭区”的三重结构,宫城内部由多个不同功能的单元组成<sup>[51]</sup>。

湖北黄陂盘龙城遗址1、2号基址均建筑在夯土台基之上,保存状况较好,目前学界对其性质和复原均有相关研究。发掘者认为两座建筑的性质分别为寝殿和正殿<sup>[52]</sup>。杨鸿勋在对其进行复原的基础上探讨了高台建筑的缘起、“前朝后寝”的形成、“四阿重屋”的复原等与宫殿建筑发展相关的问题<sup>[53]</sup>。杜金鹏则认为两座建筑基址可能是“内外朝”的关系<sup>[54]</sup>。

洹北商城1、2号建筑基址的性质和复原也曾引起学界热议。杜金鹏<sup>[55]</sup>、唐际根<sup>[56]</sup>、何乐君<sup>[57]</sup>等分别从形制、布局、结构和功能等方面开展综合分析,推测了建筑的性质和功用。

### 3. 商代晚期

商代大型建筑的复原研究以安阳殷墟开展最早,成果也最为丰硕。其中主要关注建筑的性质和复原,宫殿区的布局与演变,营建过程和建筑技术等方面。

石璋如在小屯遗址发掘报告的编写阶段已对部分建筑开展了复原研究和性质的探讨。他将小屯建筑基址分为三组,其中甲组

为寝殿和享宴之所,乙组为宗庙祭祀场所,丙组为祭坛,小屯基址整体为王宫区<sup>[58]</sup>。杨鸿勋在复原的基础上判断该遗址的性质为商代晚期王都近畿的苑囿离宫<sup>[59]</sup>。唐际根认为甲组基址的建造年代大多与洹北商城同期,而与晚期的其他宫庙建筑无关<sup>[60]</sup>。

伴随考古发掘工作的不断深入,殷墟建筑基址也得到了更多学者的关注和研究。基于丁组建筑遗存的新发现,谷飞进一步剖析了殷墟宫殿区的布局问题及四组建筑各自的性质<sup>[61]</sup>。在早期研究的基础之上,杜金鹏再次从平面布局、结构、年代和性质等诸多方面对小屯建筑基址进行深入探讨,并将丁组建筑的新发现囊括其中,对殷墟建筑的性质、复原及其所反映的礼仪制度等开展了系统性的综合研究<sup>[62]</sup>。

聚焦上述商代城址中夯土建筑基址的研究现状,可以看出,不同遗址基于夯土建筑的保存状况,从形制、布局、复原和性质等方面均开展了较为充分的建筑考古学研究,但在研究程度和侧重点方面存在明显差异。

### (二) 夯土建筑的多学科综合研究

此前,商代夯土建筑的相关科技分析开展较少,对各遗址夯土建筑的性质、成分、物料来源和夯筑工艺等问题的认识仍不甚清晰。

刘效彬等充分运用X射线衍射、傅立叶红外光谱、粒度分析和湿化学分析等科技方法对郑州商城宫殿区建筑基址的夯土材料进行深入剖析、解读,揭示了郑州商城建筑遗址夯土材料的传统工艺、物质结构和原料配比等信息<sup>[63]</sup>。

谷天旻等通过显微镜、拉曼光谱、X射线衍射、扫描电镜等方法,深入探讨了郑州商城和小双桥遗址商代不同建筑类型夯土材料的结构、组成、物理性质及微观特征,揭示了夯筑行为对原生土壤的改造、夯土材料

在建造与使用过程中的人地关系,以及夯土成分与建筑类型、部位功能需求之间的密切关联<sup>[64]</sup>。

马晓静等运用“实体模型+虚拟模型”和建筑信息模型(BIM)技术对盘龙城遗址F1进行复原和数据化分析,充分认识其前朝后寝、副阶周匝等建筑布局、构成,进一步探索了商代夯土技术、屋面材料类型等问题<sup>[65]</sup>。

### 三、商代夯筑技术研究的思考

在系统梳理中国古代夯土类建筑、技术研究成果的基础上可以认识到,目前学界从建筑史、考古学及科技分析等多重角度对夯土建筑的传统技术与工艺已经开展了相当丰富的研究。其中对长城、城墙类遗迹的版筑工艺关注较多,成果相应也更加丰富、完善,而对其他建筑类型夯筑工艺的研究关注较少,有待进一步深入探索,系统把握各类型夯土建筑材料的不同特征,进而剖析其工艺的异同,丰富以往认识。

回顾历年考古所见商代城址中夯土建筑基址的研究成果,可以明显看出,目前学界对商代夯土建筑基址的研究已经取得了相当丰硕的学术成果,但主要的关注点集中于对建筑的形制、布局、性质及复原研究,对建筑技术的探索相对较少,程度也不够深入。对比不同遗址商代夯土建筑基址的相关研究成果可知,各遗址间的建筑考古学研究在研究程度和侧重点方面存在明显差异。伴随新的考古发掘工作的开展,如郑州小双桥、安阳洹北商城等遗址可在夯土建筑技术方面尝试开展更加深入、多元的探索研究。

既往对商代夯土建筑的研究多采用传统的建筑史和考古学方法,科技考古手段的使用相对较为匮乏,实验方法的应用目前主要集中于探索其化学成分、物理性能等方面。大量相关研究证实,扫描电子显微镜

(SEM)、X射线衍射(XRD)、傅里叶红外光谱(FTIR)等实验方法的使用在探究和复原夯土材料的成分配比方面具有显著优势,这一系列对夯土物理结构和化学成分的分析路径行之有效。将上述方法充分应用于商代夯土遗址的研究之中,对了解商代夯土建筑材料的成分、物理性能和技术特征,构建商代夯土建筑技术体系具有重要意义。

此外,之前较少应用于夯土遗址中的土壤微形态和植物微体化石等分析方法,可能也具备一定的应用前景。

在识别夯土和遗址附近土壤的微观结构时,可以尝试引入土壤微形态分析方法。土壤微形态是通过显微观察土壤形态、颜色、分布等来解译文化遗址的堆积埋藏过程,推测历史时期环境演变及古人类活动的一种分析方法<sup>[66]</sup>,能够从微观角度获取古人类活动及利用、改造土地的相关信息<sup>[67]</sup>。目前,该方法已广泛应用于国内的考古遗址之中,为解读和复原壕沟、城墙等遗存的修建、使用、废弃过程等方面提供了翔实、清晰的材料<sup>[68]</sup>。

微形态分析方法在建筑类遗迹中的应用主要关注建筑的物质来源、制作过程,以及使用、维护、重建过程中所遗留的痕迹等方面。Macphail等曾运用微形态方法解读了偃师灰嘴遗址中房址地面的建造过程,认为其由下至上由就近取用的纯净黄土、深红色的泥层以及块状凝灰岩组成,并结合沉积物的分布推断该房址是礼仪性活动的场所<sup>[69]</sup>。该方法在夯土类型遗址中的运用目前尚不多见,引入土壤微形态方法,或可有助于从微观视角观察夯土剖面中土壤颗粒的结构、组成和排列方式,细分土色、粒径的层次差异,聚焦孔洞、裂隙、包含物等特征结构,从而对建筑形成、发展、演变过程做出更为准确、科学的推断,进一步认识夯筑行为对土壤性

质和微观结构的影响和改造现象。

掺杂植物茎叶、枝条（或植物汁液，如糯米浆、杨桃汁等）是提高夯土墙体黏着力和稳定性的常见做法。判别夯土材料中是否曾加入植物掺合料，可通过对样品中保留的原状或炭化植物遗存及其枝叶分解后留下的孔隙、印痕进行显微观察和鉴定。对于那些已经在自然条件下腐化、分解，没有留下完整遗存的情况，则可尝试通过植硅体分析来考察土壤中曾经存在过的植物类型。

植硅体分析法在分析、辨别建筑材料中植物遗存方面的应用还不太广泛。将植硅体分析方法结合运用于建筑材料的研究，目前仅有少量的研究案例可供参考，如Mulholland等利用植硅体分析结果推测芦竹（*Arundo donax*）是特洛伊古城建房的主要材料<sup>[70]</sup>；赵卓等在浙川沟湾遗址房基所使用的红烧土中发现了竹亚科植物和芦苇两种掺合料<sup>[71]</sup>；李晓彤等在宁夏隆德周家嘴头遗址发现粟、黍的叶和稃壳被先民有意识地掺杂进草拌泥中以加固建筑<sup>[72]</sup>。这些研究发现对复原红烧土、草拌泥等建筑材料的制作过程及房屋建筑技术有着重要意义。对夯土材料中包含的植物遗存深入开展微体植物化石分析，对比建筑夯土和文化层土壤中植被类型的差异，或将有助于解读建筑的原料配比、夯筑过程和技术工艺。

#### 四、结 语

城墙和宫殿建筑的营建是都邑遗址的核心，是先进的都城制度和城市文明程度的重要标志，夯土建筑技术又是城墙和宫殿营建的关键，代表了当时的生产力发展水平。夯土建筑的传统工艺与技术研究作为考古学、建筑学等诸多学科的交叉点，多学科方法的引入和应用有助于从建筑技术和人地关系的角度获取人群与夯土建筑的联动关系，从而

剖析夯土建筑技术在早期城市发展历程中所起到的作用。

- [1] 国家文物局考古领队培训班. 郑州西山仰韶时代城址的发掘. 文物, 1999, (7).
- [2] 陕西省西安半坡博物馆. 西安半坡. 北京: 文物出版社, 1982: 11.
- [3] a. 梁思成. 《营造法式》注释. 北京: 生活·读书·新知三联书店, 2013: 10~15.  
b. 潘谷西, 何建中. 《营造法式》解读: 第二版. 南京: 东南大学出版社, 2017: 218~266.
- [4] 裴强强, 陈嘉睿, 武海超, 等. 《营造法式》筑基、筑城、筑墙之制初探. 敦煌研究, 2021, (5).
- [5] 张虎元, 赵天宇, 王旭东. 中国古代土工建造方法. 敦煌研究, 2008, (5).
- [6] 薛程. 中国长城墙体建造技术研究. 西安: 西北大学, 2018: 29~90.
- [7] a. 张玉石. 中国古代版筑技术研究. 中原文物, 2004, (2).  
b. 任会斌. 战国长城的版筑技术: 兼谈版筑的起源与发展. 南方文物, 2016, (4).
- [8] 景爱, 苗天娥. 剖析长城夯土版筑的技术方法. 中国文物科学研究, 2008, (2).
- [9] 李秀珍. 从秦代夯土建筑看中国古代夯土版筑技术的发展 // 秦文化论丛: 第13辑. 西安: 三秦出版社, 2006: 267~278.
- [10] 徐珂, 马志平, 王宁远, 等. 良渚古城中“铺底垫石”营建技术分析. 南方文物, 2018, (1).
- [11] 裘锡圭. 裘锡圭学术论文集: 金文及其他古文字卷. 上海: 复旦大学出版社, 2015: 39~42.
- [12] 左勇. 甲骨文所体现的商代建筑技术举例. 牡丹江教育学院学报, 2017, (3).
- [13] a. 薛程. 秦汉时期夯头研究. 考古, 2021, (2).  
b. 同[6].
- [14] 贾宇航, 高玉峰, 袁俊平, 等. 良渚时期夯筑工具及夯筑方式初探. 粉煤灰综合利用, 2020, 34(2).
- [15] PARRACHA J L, SILVA A S, COTRIM M, et al. Mineralogical and microstructural characterisation of rammed earth and earthen mortars from 12th century Paderne Castle. Journal of Cultural Heritage, 2020, 42: 226-239.
- [16] JO Y H, LEE S M, LEE C H. Material characteristics

- and building technique for the rammed earth wall of the 13th Korean fortress in Ganghwa. *Environmental Earth Sciences*, 2018, 77: 1-15.
- [17] DAOUDI L, ROCHA F, COSTA C, et al. Characterization of rammed-earth materials from the XVIth century Badii Palace in Marrakech, Morocco to ensure authentic and reliable restoration. *Geoarchaeology*, 2018, 33(5): 529-541.
- [18] 袁润, 宋向荣, 李建康, 等. 焦山古炮台夯土成分分析及建造工艺研究. *文物保护与考古科学*, 2010, 22(2).
- [19] a. 周华, 陈晓鹏, 张中俭, 等. 圆明园舍卫城遗址夯土崩解试验研究及保护建议. *科学技术与工程*, 2020, 20(28).
- b. 邹非池, 周华, 张中华, 等. 圆明园舍卫城城墙夯土工艺的科学分析. *科学技术与工程*, 2023, 23(24).
- [20] 胡薪苹, 师育新, 戴雪荣, 等. 基于粘土矿物XRD分析的良渚古城城墙土特征及物源探讨. *岩石矿物学杂志*, 2013, 32(3).
- [21] 揭小娟. 基于粘土矿物XRD分析的良渚古城城墙土物源追踪研究. 上海: 华东师范大学, 2014.
- [22] 赵钦. 基于环境磁学分析的良渚古城城墙土物源追踪研究. 上海: 华东师范大学, 2014.
- [23] 裴强强. 夯土遗址传统工艺科学认知与稳定性评价研究. 兰州: 兰州大学, 2020: 11, 12.
- [24] 纪晓佳. 糯米浆三合土的物理力学性能研究. 杭州: 浙江大学, 2013: 3, 4.
- [25] 沈畅, 周小棣, 常军富. 明代夯土长城的城墙材料与构造: 以大同镇段为例. *东南大学学报(自然科学版)*, 2014, 44(1).
- [26] 水碧纹. 我国古代夯土建筑遗址灰土材料的初步研究. 西安: 西北大学, 2012: 60, 61.
- [27] 陈平, 杨瑜瑞, 郝宏伟, 等. 榆林卫城南城墙夯土改性加固试验研究. *建筑材料学报*, 2014, 17(3).
- [28] LU H, KANG N, ZHANG B, et al. Organic additives to Neolithic white lime surfaces in Yulin, Shaanxi, China. *Journal of Archaeological Science*, 2023, 158.
- [29] a. 易识远, 魏国锋, 张秉坚, 等. 中国传统三合土材料配方的试验研究. *西北民族大学学报(自然科学版)*, 2019, 40(4).
- b. ZHANG C, ZHANG B, CUI B, et al. What factors contribute to high mechanical strength of tabia? Case study of the tabia from coastal forts sites at Zhejiang, China. *Heritage Science*, 2020, 8(1).
- [30] 韩蕙如. 三代夯土建筑基址结构与形态研究. 北京: 北京大学, 2022: 214~227.
- [31] XIE L, WANG D, ZHAO H, et al. Architectural energetics for rammed-earth compaction in the context of Neolithic to early Bronze Age urban sites in Middle Yellow River Valley, China. *Journal of Archaeological Science*, 2021, (126).
- [32] a. 河南省文物考古研究所. 郑州商城: 1953~1985年考古发掘报告. 北京: 文物出版社, 2001: 139~874.
- b. 河南省文物研究所. 郑州商城考古新发现与研究: 1985~1992. 郑州: 中州古籍出版社, 1993: 1~14, 48~59, 98~241.
- [33] 中国社会科学院考古研究所. 偃师商城: 第一卷. 北京: 科学出版社, 2013: 8~16.
- [34] 河南省文物考古研究所. 郑州小双桥: 1990~2000年考古发掘报告. 北京: 科学出版社, 2012: 61~67.
- [35] 湖北省文物考古研究所. 盘龙城: 1963~1994年考古发掘报告. 北京: 文物出版社, 2001: 42~70.
- [36] a. 中国社会科学院考古研究所安阳工作队. 河南安阳市洹北商城宫殿区1号基址发掘简报. *考古*, 2003, (5).
- b. 中国社会科学院考古研究所安阳工作队. 河南安阳市洹北商城宫殿区二号基址发掘简报. *考古*, 2010, (1).
- [37] a. 石璋如. 小屯: 第一本: 遗址的发现与发掘: 乙编: 殷墟建筑遗存. 台北: “中央”研究院历史语言研究所, 1959: 273~281.
- b. 中国社会科学院考古研究所. 安阳殷墟小屯建筑遗存. 北京: 文物出版社, 2010.
- [38] 同[37] a.
- [39] a. 郭明. 黄河流域商周时期建筑的考古学观察. 北京: 北京大学, 2013.
- b. 郭明. 居于南土: 长江流域商周时期建筑的考古学观察. 北京: 科学出版社, 2020.
- [40] 同[30].
- [41] 王慎行. 商代建筑技术考. *殷都学刊*, 1986, (2).
- [42] 杨鸿勋. 宫殿考古通论. 北京: 紫禁城出版社, 2009: 63~103.
- [43] a. 李栋. 夏商周时期房屋建筑技术初步研究. 济南: 山东大学, 2007.
- b. 李栋. 先秦礼制建筑考古学研究. 济南: 山东大学, 2010.
- [44] 辛宇. 安阳殷墟房屋建筑基址研究. 长沙: 湖南大

- 学, 2019.
- [45] 师东辉. 殷墟中小型房屋建筑遗存研究. 郑州: 郑州大学, 2019.
- [46] 同[42]: 57~59.
- [47] 程平山. 郑州商城C8G16基址群略析. 中国文物报, 2000-03-01(03).
- [48] 袁广阔, 朱光华. 关于郑州商城小型房基的几点认识. 中原文物, 2010, (5).
- [49] 杜金鹏, 王学荣. 偃师商城近年考古工作要览: 纪念偃师商城发现20周年. 考古, 2004, (12).
- [50] 同[42]: 43~55.
- [51] 侯卫东. 郑州小双桥商代都邑布局探索. 中国国家博物馆馆刊, 2016, (9).
- [52] 湖北省博物馆盘龙城发掘队, 北京大学考古专业盘龙城发掘队. 盘龙城一九七四年度田野考古纪要. 文物, 1976, (2).
- [53] 杨鸿勋. 从盘龙城商代宫殿遗址谈中国宫廷建筑发展的几个问题. 文物, 1976, (2).
- [54] 杜金鹏. 盘龙城商代宫殿基址讨论. 考古学报, 2005, (2).
- [55] 杜金鹏. 洹北商城一号宫殿基址初步研究. 文物, 2004, (5).
- [56] 唐际根, 荆志淳, 何毓灵. 洹北商城宫殿区一、二号夯土基址建筑复原研究. 考古, 2010, (1).
- [57] 何乐君. 洹北商城宫殿区一号建筑基址复原研究. 南京: 南京大学, 2017.
- [58] 同[37] a: 20~22.
- [59] 同[42]: 63~76.
- [60] 唐际根. 安阳殷墟宫庙区简论 // 三代考古: 一. 北京: 科学出版社, 2004: 291~297.
- [61] 谷飞. 关于殷墟宫庙区问题的几点思考 // 纪念世界文化遗产殷墟科学发掘80周年: 考古与文化遗产论坛会议论文. 北京: 中国社会科学院考古研究所, 2011: 146~150.
- [62] 杜金鹏. 殷墟宫殿区建筑基址研究. 北京: 科学出版社, 2010.
- [63] 刘效彬, 杨树刚, 张秉坚. 郑州商城遗址出土夯土材料的分析研究. 文物保护与考古科学, 2016, 28(4).
- [64] a. 谷天肠, 杨雪钦, 师东辉, 等. 郑州地区商代建筑夯土材料的科技分析与研究: 以郑州商城和郑州小双桥遗址为例. 文物保护与考古科学, 2024, 36(1).  
b. 谷天肠, 师东辉, 杨树刚, 等. 郑州地区商代都邑夯土建筑材料研究. 光谱学与光谱分析, 2025, (7).
- [65] 马晓静, 鲍培瑜, 杨扬, 等. 盘龙城商朝宫殿遗址的模型建构. 山西建筑, 2019, 45(16).
- [66] 姜钰, 吴克宁, 查理思, 等. 土壤微形态分析在考古应用方面的研究进展. 土壤通报, 2016, 47(4).
- [67] 查理思, 吴克宁, 梁思源, 等. 基于遗址土壤分析的古人类活动研究进展. 土壤通报, 2019, 50(4).
- [68] a. 宿凯. 城子崖遗址岳石文化时期微环境复原. 济南: 山东大学, 2017.  
b. 宿凯, 靳桂云, 吴卫红. 凌家滩遗址外壕沟沉积物反映的土地利用变化: 土壤微形态研究案例. 南方文物, 2020, (3).  
c. 饶宗岳, 王芬, 庄奕杰, 等. 焦家遗址大汶口文化城墙与壕沟使用过程的地学考古观察. 南方文物, 2022, (1).
- [69] MACPHAIL R I, CROWTHER J. 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).
- [70] 转引自: 王永吉, 吕厚远. 植物硅酸体研究及应用. 北京: 海洋出版社, 1993: 147.
- [71] 赵卓, 靳松安, 司彬, 等. 淅川沟湾遗址红烧土中植物遗存的辨别. 华夏考古, 2012, (3).
- [72] 李晓彤, 杨剑, 王晓阳, 等. 宁夏隆德周家嘴头遗址草拌泥初步分析 // 东方考古: 第17集. 北京: 科学出版社, 2020: 205~212.

(责任编辑: 余洁)