

陕西石峁皇城台城门用功试释*

Work Norm and Construction Time of Huangchengtai Gate in Shimao

国庆华

GUO Qinghua

摘要: 复原是建筑史研究的重要内容之一。建筑遗址的复原存在多个不同的系统,如西亚城址复原使用试验考古手段、电脑技术,但在再现建筑外貌方面两者是一致的。相对而言,关于施工方面的“复原”研究则少得多。本文通过直接观察,分析材料、技术和构造,有效地解读石峁皇城台城门,追踪其建筑历史。营造问题是本研究的关注点,依循古代典籍用工制度,估算皇城台城门用工量,尝试“复原”施工所需时间。

关键词: 建筑材料;用工量;施工时间

【文章编号】2096-9368(2022)01-0109-18

【中图分类号】TU-092.8

【文献标识码】A

【修改日期】2022-01-30

【作者简介】

国庆华,澳大利亚墨尔本大学建筑学院教授,博士,主要从事建筑史学研究。

* 国家社会科学基金重大项目“石峁遗址考古发掘与研究”(17ZDA217)

Abstract: Restoration is an important part of architectural-history studies. There are several different systems for architectural reconstructions — experimental archaeology and computer technology, the goal to reconstruct the building appearance is the same. There are few towards reconstruction constructions. Through direct observations, this paper analyzes materials, structures, and techniques to interpret the Huangchengtai Gate and trace its history. The construction issues are the center of this research. An estimation of the working days to construct the Huangchengtai Gate is made according to the *Yingzao fashi*, which summarized historic data and set out standard manpower for construction work in the Song dynasty.

Keywords: building materials; work norm; construction time

石峁城址地处陕西神木地区,于1976年被发现,陕西省考古研究院于2011年开始发掘。石峁是一座大型新石器时代晚期—青铜时代早期城址(约公元前2300—公元前1800年)。石峁城门和城墙,表现了一种高度成熟期的建筑文化。很显然,史前城建文明不是从石峁开始的,其在石峁所代表的阶段以前一定有一段相当长久的孕育和发展时期。因此,石峁具有极高的研究价值,其考古成果受到中外学者的高度关注。石峁连续在国内和国际被评选为重要考古发现,被列入2013年世界考古·上海论坛“世界十大重要田野考古发现”“2019年度全国十大考古新发现”、

2020年美洲考古学会《考古》(*Archaeology*)杂志“过去十年(2011—2020)世界十大考古发现”。

考古工作者在发掘记录石峁遗址的同时运用科学手段解读所获得的考古资料,辨认、解释和重建石峁遗迹,追踪其建筑文化源头均是史前研究者的责任所在。建筑遗址复原现有三个不同的学科系统:一、实验考古学,考古学的一个分支,在实验的前提下,建立古代生产生活方式。二、建筑史学,运用建筑史基本知识,依据考古遗存、文献或图像等信息,再现建筑。三、考古和建筑结合,用电脑虚拟现实技术,复原建筑,达到仿真效果。

本文从营造建筑的角度，依循古代典籍用功制度，估算石砌皇城台城门用工量和施工所需时间。建皇城台城门需要用多少人工、花费多少时间，是石砌皇城台城门研究的关键问题，这一问题的解决不但对石砌皇城台城门研究具有重要意义，而且与石砌的社会人口问题密切相关。

笔者从哈图沙（Hattusha）和乌鲁克（Uruk）所代表的实物复原和虚拟复原出发，解读皇城台城门遗址，并进行复原研究，最后进行工作量的计算。

1 哈图沙：重建足尺实物

把重建作为研究课题，以真实为本，建足尺实物，详细记录并出版重建的全过程，包括施工和用料，目前为止哈图沙是这类研究方法的首例。

哈图沙是赫梯帝国（Hittite）的都城（青铜时代晚期，约公元前1700—公元前1200年），位于安纳托利亚，今土耳其中部。安纳托利亚一词源自希腊语，意为“东方”。这里的原住民是哈梯人（Hatti），赫梯人（Hittites）是外来的，其起源不完全明确，大概来自黑海地区（Black Sea region）和庞蒂奇草原（Pontic steppe），为当时广泛移民的一部

分，约公元前2000年到达安纳托利亚。赫梯帝国之前是哈梯国（注：哈梯国建哈图沙为都城），再之前是城邦国家时期。有些现代学者把赫梯分为两个时期：旧王国（公元前1700—公元前1500年）和新王国（公元前1400—公元前1200年）。之所以这样划分，是因为公元前1500—公元前1400年期间几乎没有任何信息可考。在哈图沙发现很多泥版文书，赫梯文字是参照两河流域的楔形文字（Akkadian cuneiform）创造的。最有名的是1986年发现的青铜版文书，内容是公元前1259年两个争雄大国——赫梯和埃及缔结的和平条约^[1]。约公元前1200年，哈图沙与赫梯帝国一起毁灭，学者们认为这是青铜时代崩溃的一部分。

1834年，法国的建筑史和考古学者查尔斯·特西尔（Charles Texier）在小亚细亚普查时发现哈图沙遗址。1893—1894年，法国考古和人类学家欧内斯特·尚特雷（Ernest Chantre）对其进行过发掘。自1906年起，德国考古院开始对其进行发掘。哈图沙分上、下城，各有城墙环绕。下城（南城）属旧王国时期，上城（北城）属新王国时期。下城城墙长2988米，上城城墙长3270米，两城总面积1.8平方公里。发掘的建筑基址展示了神庙群和宫城区（royal citadel, Büyükkale）的位置和布局（图1）。墓

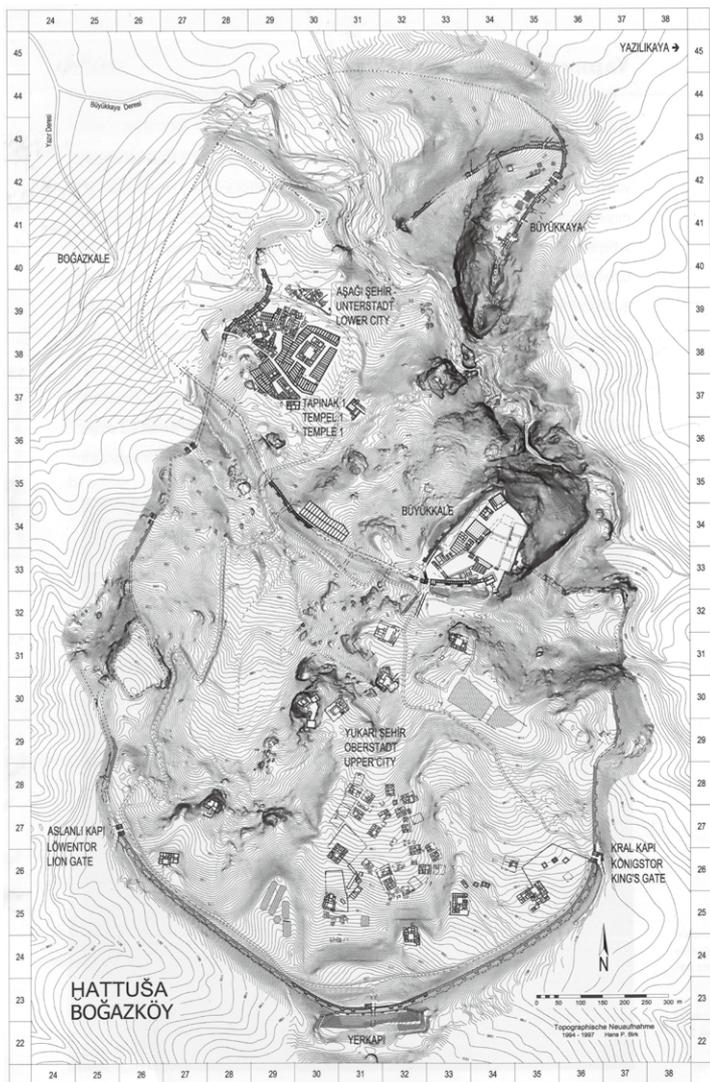


图1 哈图沙
(SEEHER J, *A Mudbrick City Wall at Hattusha: Diary of a Reconstruction*)

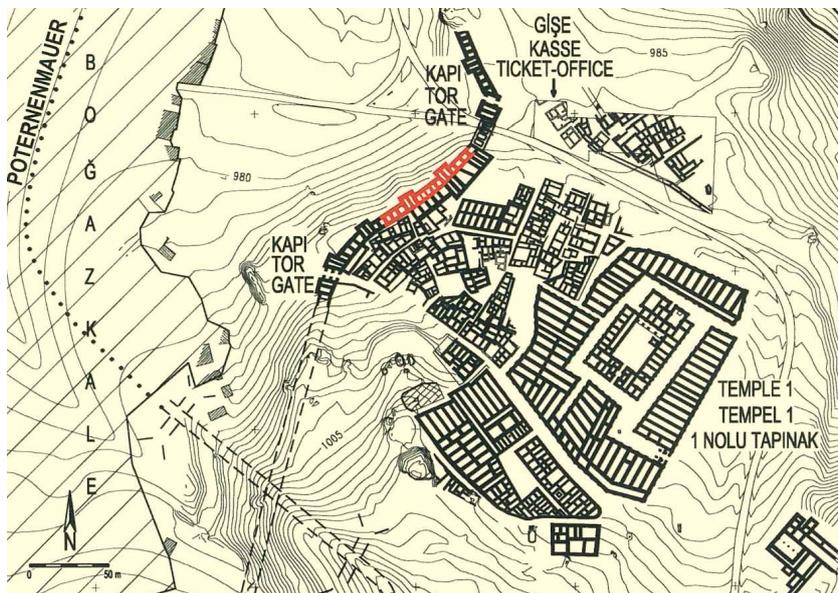


图2 哈图沙下城局部，红色为重建部分
(SEEHER J, *A Mudbrick City Wall at Hattusa: Diary of a Reconstruction*)



图3 陶城楼，安纳托利亚考古博物馆
(作者自摄)

葬区在城外，大多数是火葬墓。哈图沙以上城的三座城门最为著名，即狮门(Lion Gate)^[2-3]①、王门(King's Gate)和狮身人面门(Sphinx Gate)，分别以门框上的石刻主题命名。

截止到2006年，哈图沙发掘共进行了68个考古发掘年度。随着考古资料的增多，建筑遗址和浮雕遗存得以断代。在此基础上，当代考古学者对早期学者提出的哈图沙年代做出修正，并论证上、下城关系^[4]。简单地说，哈图沙年代的上限向前推移了。

1986年，哈图沙列入世界遗产名录。从那时起，考古学者努力使遗址成为露天考古博物馆。2003—2005年，德国考古院在下城重建了两座城楼和一段城墙，作为展示建筑。对考古学者来说这是一个全面实验考古项目，他们在原址上，以足尺规模，再现城楼城墙原貌。位置选在两个城门址中间、遗址博物馆入口旁(图2)。决定重建城楼而不是宫殿或神庙的原因是仅有城楼建筑立面的信息。信息来自间接的考古资料——哈图沙出土的几个陶楼残片，其中一个完整，为陶罐沿口装饰：城楼两层，大梁平顶，上有城垛。城墙土红，城垛白色(图3)。

重建的两个城楼夹三段城墙总长65米，墙高7~8米，墙厚约7米。城楼平面9.4米×10.1米，城楼凸出城墙外3米左右，高12~13米。城楼间距19.2米(哈图沙城楼间距14~23米不等)。重建三年时间共用工6772人/天。重建的目标是真实地再现赫梯时期城楼城墙的外貌，城楼内部不对游人开放。因为陶楼仅提供了外形信息，因此重建城楼的结构和细部是根据当地传统建筑另行设计的，如城楼内设了两面短墙承受楼层和屋顶重量。事实上，重建工作是实验考古和建筑实验的合作。

安纳托利亚的建筑技术特征是土坯城墙和箱形石基。

图4 城墙城楼的箱型基础
(NOSOV K, DELF B, *Hittite Fortifications 1650—700 BC*)



土坯如果直接建在地面上，地面的水分会浸入土坯，导致墙体坍塌。根据遗址推断，哈图沙的施工方法是先夯基地，然后铺石，再砌石基。下城有些石基直接建在岩石上。箱型基础为两道纵向平行的石墙，其间设横向联系墙，形成一串箱，箱内以土填实(图4)^[5]。石基所用石块是采石场来的毛石，尺寸较大。城楼转角用修整过的石块，错缝干摆无泥。早期城楼和城墙基础一体，后期城楼基础自成整体。这一现象可以解释为早期城楼和城墙高度一致，后来城楼高于城墙。石基高度未知，有的遗存高约2米。石基立面上发现孔洞，推测石墙曾用原木加固。哈图沙土坯城墙在地面上的部分没有保留下来，发掘出来的土坯墙内有横木。土坯方形，尺寸为45厘米×45厘米×10厘米~50厘米×50厘米×12厘米，土坯内或掺草，或草和卵石，或仅卵石。哈图沙土坯墙转角部分全部为圆角，其原因大概是由于尖角容易损坏。

哈图沙城楼城墙的重建过程，不仅关注建造本身，还涉及建筑物在自然条件下的损坏情况、维修周期和寿命问

① 已发表的研究不在此重复，有关讨论，见国庆华孙周勇、邵晶《石峁外城东门址和早期城建技术》及国庆华《龙山文化晚期石峁东门中所见的建筑文化交流》。



图5 哈图沙的城楼城墙（城内立面），2003—2005年重建
（作者自摄）

题（图5）。严格地说，重建工作并非完全按照真实历史行事，例如使用了汽车运输建筑材料。但是，重建过程中的每一步都研究了原始做法。重建所用的建筑材料，除了钉子和螺栓之外都是传统材料，整个成果于2007年出版^[6]。

2 乌鲁克：电脑虚拟复原

考古资料显示，两河流域是人类城市文明（urban civilization）的发源地。城市在两河流域下游开始产生，逐

渐向上游发展。位于两河流域下游沼泽三角洲、幼发拉底河北岸由苏美尔人（Sumer）建立的乌鲁克（Uruk，苏美尔语，意为“定居地”）是当时（公元前3900—公元前2900年）世界上最大的城市。从乌拜德（Ubaid）^①到二里渡（Eridu）再到乌鲁克，时间范围为公元前5300—公元前3900年。两河流域文明由不同民族创造，最早是苏美尔人。苏美尔人最重要的发明包括：楔形文字、圆柱印章、烧制彩陶、使用陶轮和建造舟船。在公元前4100—公元前2900年间，乌鲁克是苏美尔人的政治、宗教和贸易中心，史称乌鲁克时期。

1849年，乌鲁克遗址被英国人威廉·肯尼特·洛夫特斯（W. K. Loftus, 1820—1858）确认，并在次年进行短暂挖掘。1912年之后，德国考古队进行发掘。德国的考古特点是注重建筑，目的不是寻找大型艺术品。发掘负责人全部受过建筑学和建筑史教育，不少是训练有素的建筑师。

乌鲁克城平面形状规整，土坯城墙全长8.7公里，外有壕沟环绕。公元前3000年左右，城内面积约5.2平方公里。城内有水渠、水井、蓄水池和排水系统。城外遍布水渠，灌溉农田和果园。内外水渠相连（图6）。

学者们认为，乌鲁克是从两个定居点发展起来的：库拉巴（Kullaba）和伊安娜（Eanna）。城中高地为长期居住堆积而成，城墙把它们及其周围包围起来，新区地平低。神庙宫殿位于城中心，所在的土丘最高，建筑成群，各有高墙环绕。公元前3200年左右的建筑群并非经过周密规



图6 乌鲁克
（VAN ESS M, *Uruk: Architektur II, Von der Akkad- bis zur mittelbabylonischen Zeit*）

① 在乌拜德遗址发现几何图案彩陶，聚落中心有土坯高台，这一时期史称乌拜德时期。

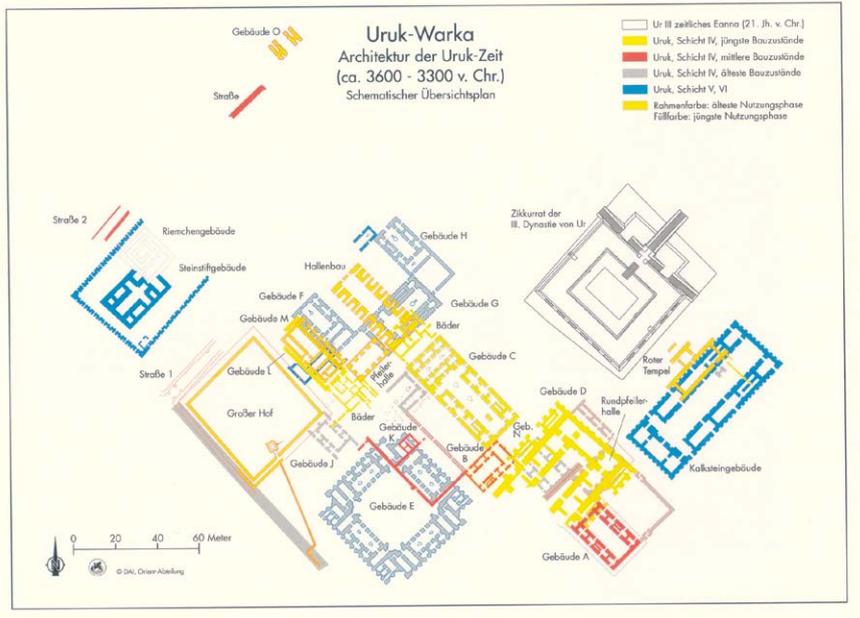


图7 乌鲁克城中心建筑平面整合图，颜色表示不断重建的神庙之关系
(CRUSEMANN N, *Uruk: 5000 Jahre Megacity*)

划，而是长期重建的结果（图7）。

关于乌鲁克城门资料，只有一个北门平面：城门外侧有翼墙，直门道，门道宽约3米。城墙外侧有半圆壁柱（图8）。

乌鲁克城墙和城门的信息集中在“内城”。城中心的伊瑞夏神庙又称埃施加尔（Irigal temple or Ešgal，约公元前3000年），平面方形。城墙为双层中空，土坯造，墙外包砖，总厚18.3~19.2米。在西南面有两个城门，均为直门道（图9）。

在乌鲁克城中心的伊安娜神庙区（Eanna）的IVb地层发现“Z”形门道（图10）^[7]。神庙A、B和大院C面积相当，地面存在高差。通过C院可进入B庙的柱廊和A庙。院内地面在靠近神庙处有马赛克残留。院子朝街的两面墙上分别开门，形式不同。东南墙对称布置双门，每门的门道呈“Z”形。院墙高度未知，但应高于人的视线。“Z”形门道城门亦见于两河流域上游和黎凡特（Levant，巴勒斯坦和以色列地区）。黎凡特墙体复杂，城门高大（图11）^[8]。

在考古发掘进行百年之后的2013年，乌鲁克考古成果在博物馆向公众展览^①。随之，德国考古院和德国东方学会联合召开国际学术会。在博物馆和会议中公布的乌鲁克研究成果包括一系列神庙建筑复原模型。自2007年起，德国考古学会和柏林虚拟概念设计公司合作开展乌鲁克可视化项目（Uruk Visualization project）。他们根据最新的研究，重新审核之前的手绘复原，并建3D复原模型。建筑模型用途有三：一，评估档案资料，利于讨论遗址相关工作。二，在“5000年前特大城市乌鲁克展览”（Uruk: 5000 Jahre Megacity）中使用。三，在乌鲁克遗址游客中心展示。电脑模型分两类：基本模型和专业模型。前者为大众展示所用，后者为专家研究所用。所有的复原都是假设性的，故存在不止一种方案。专

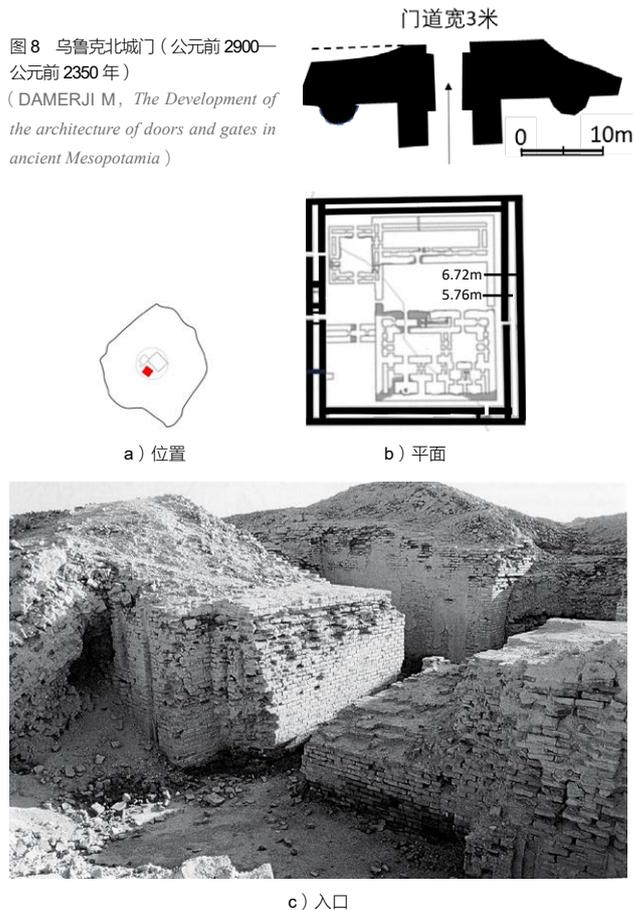


图9 乌鲁克城中心的伊瑞夏神庙区
(VAN ESS M, *Uruk: Architektur II, Von der Akkad- bis zur mittelbabylonischen Zeit*)

家模型亦称技术复原，考虑多种可能，进行比较，然而受其他同类建筑启发最小。换言之，专家模型忠于考古资料，不允许自由诠释。具体方法是，在测绘图上逐层复原，每层都有细部，基于多种技术模型实现整体复原

① 展出地在柏林的佩加蒙博物馆（Pergamon Museum）和曼海姆的里斯-恩格尔霍恩博物馆（Reiss-Engelhorn Museum），见 *Uruk: 5000 Jahre Megacity*。

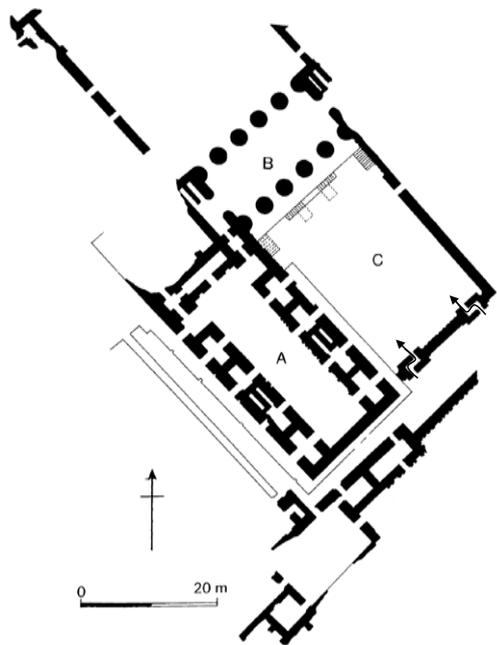


图10 乌鲁克伊安娜神庙(地层IVb)
A—圣殿 B—柱廊(“Z”形院门比图7中C院门地层晚)
C—马赛克大院
(CRAWFORD H, *Sumer and the Sumerians*)

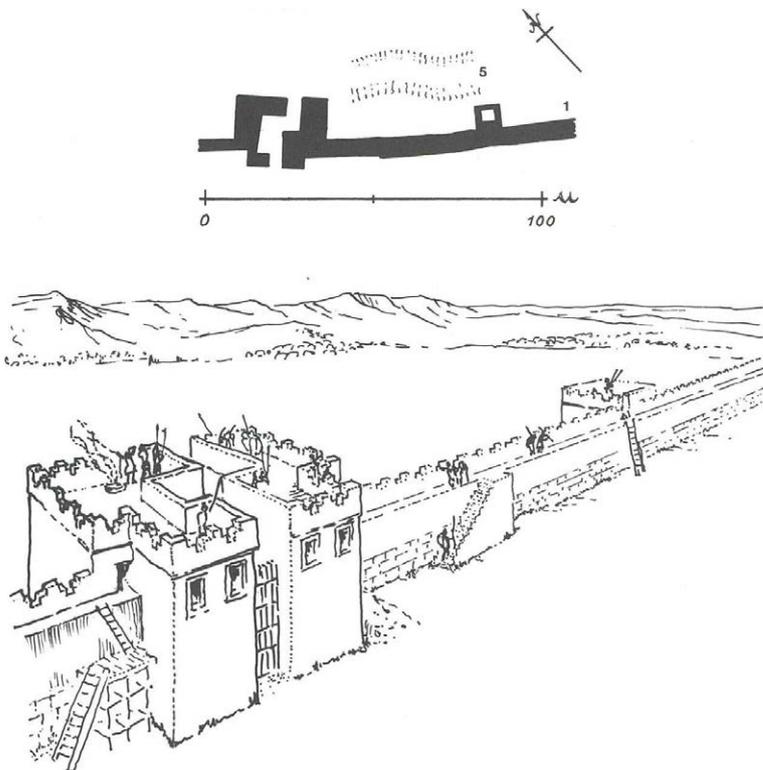
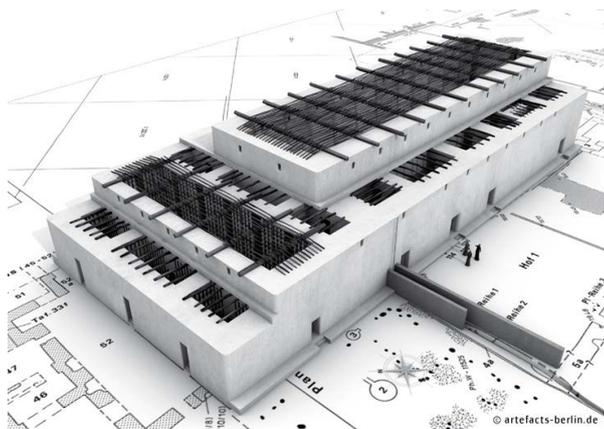
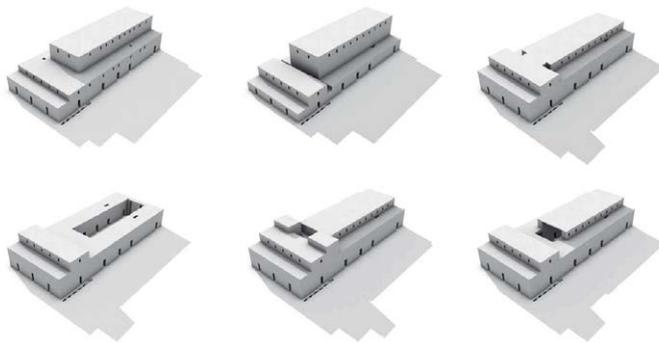


图11 门楼和其之间的“Z”形门道
(WRIGHT G, *Ancient Building in South Syria and Palestine*)



a) 技术复原: 土坯墙上架原木, 平顶



b) 基本复原: 尝试不同可能性

图12 乌鲁克C号建筑(公元前3300—公元前3100年)
(HAGENEUER S, *The Visualization of Uruk: First Impressions of the First Metropolis in the World*)

(图12)^①。使用电脑技术,整合建筑考古资料,多方面比较,已经成为视觉复原研究手段。^②这个新兴的学科被称为“重建考古学(Reconstructive Archaeology)”。

3 解读皇城台城门

石峁城(公元前2300—公元前1800年)建在顶部平缓、

深沟切入的山地(当地称之为“峁”),由东、西两部分组成,分别有石墙围绕。两部分之间共用石墙,以城门相通。西城内有四条水沟,汇合流入西北边的洞川沟,然后流入山峁下的秃尾河。位于西城中部偏西的皇城台是一个相对独立的平顶山,高出周围20余米(图13)。皇城台四面是沟,仅西南角与台外部以马鞍形连接。城门是皇城台唯一的出入口,建在山坡上,朝东偏北47度。为方便叙述,以

① HAGENEUER S, *The Visualization of Uruk: First Impressions of the First Metropolis in the World, Proceedings of the 18th Conference on Cultural Heritage and New Technologies*, Wien, 2014年。网址: https://figshare.com/articles/journal_contribution/The_visualisation_of_Uruk_-_First_impressions_of_the_first_metropolis_in_the_world/6071723。

② 自1995年起,文化遗产和电脑技术国际会议(International Conference on Cultural Heritage and New Technologies)每年在维也纳召开,会议发行电子文集并提供阅读网址。

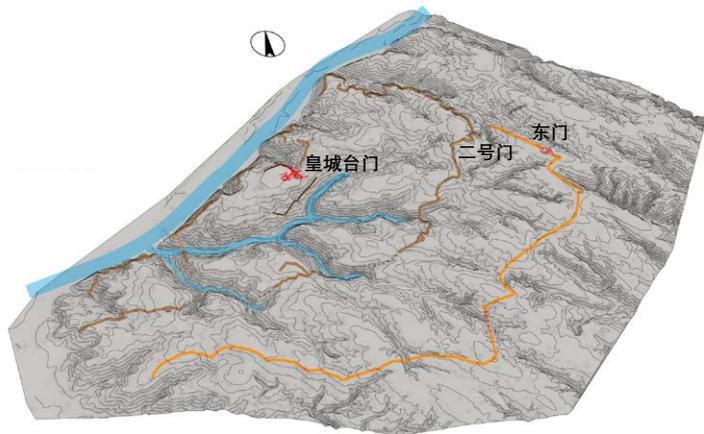


图 13 石峁地形^①
(作者团队自绘)

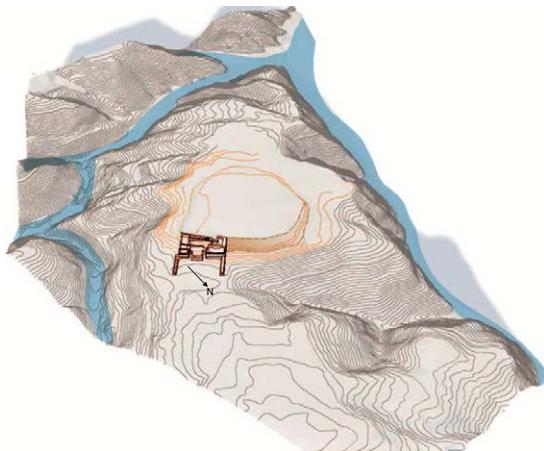


图 14 皇城台地貌^②
(作者团队自绘)

下简称城门向东(图14)。皇城台视野开阔,站在台上可以视察石峁大部,保证了与东城的东门和二号门及北城墙的直接联系,还可以遥望远处的沙漠和河套丛林。就海拔高度而言,东门比皇城台城门高82米。皇城台城门与自然条件结合,体现了因地制宜原则,自然地理条件在构筑防御建筑过程中起重要作用。

皇城台地形为自然台地状,台高26.5米。城门建在山坡上,面积5300平方米(南—北72.6米,东—西74.9米)(图15),沿着山体在层层台地上建有挡土墙。皇城台挡土墙和皇城台城门尺度都相当大:位于城门北侧的挡土墙,目前清理部分长100多米,高15.6米。发掘皇城台挡土墙和城门的过程中出土陶器、骨器、玉器、青铜器和石雕,表明皇城台为政治—宗教和生产—贸易中心。从选址的角

度看,石峁的营造者利用地形对皇城台形成保护。

从建筑学角度进一步分析,可以识别出三个明确、互相关联的层面(图16):

第一个层面是主要结构。城门由六个构筑物组成:两个墩台,两个翼墙和两个障墙。它们分别是南、北墩台,南、北翼墙和前、后障墙。墩台均为实心矩形:南墩台,平面东西长;北墩台,平面南北长。翼墙位于广场两侧,其后端分别顶在两墩台的外角。前障墙是个“U”形平面独立影壁,在其两侧进、出皇城台,门道呈“Z”形;后障墙为两道平行墙(下文进一步讨论)。

第二个层面是空间序列。城门由三个空间组成一条约100米长的行进路线。南北墩台前有一个巨大的广场,由两个翼墙界定了广场的范围。墩台之间的空间被小挡土墙分

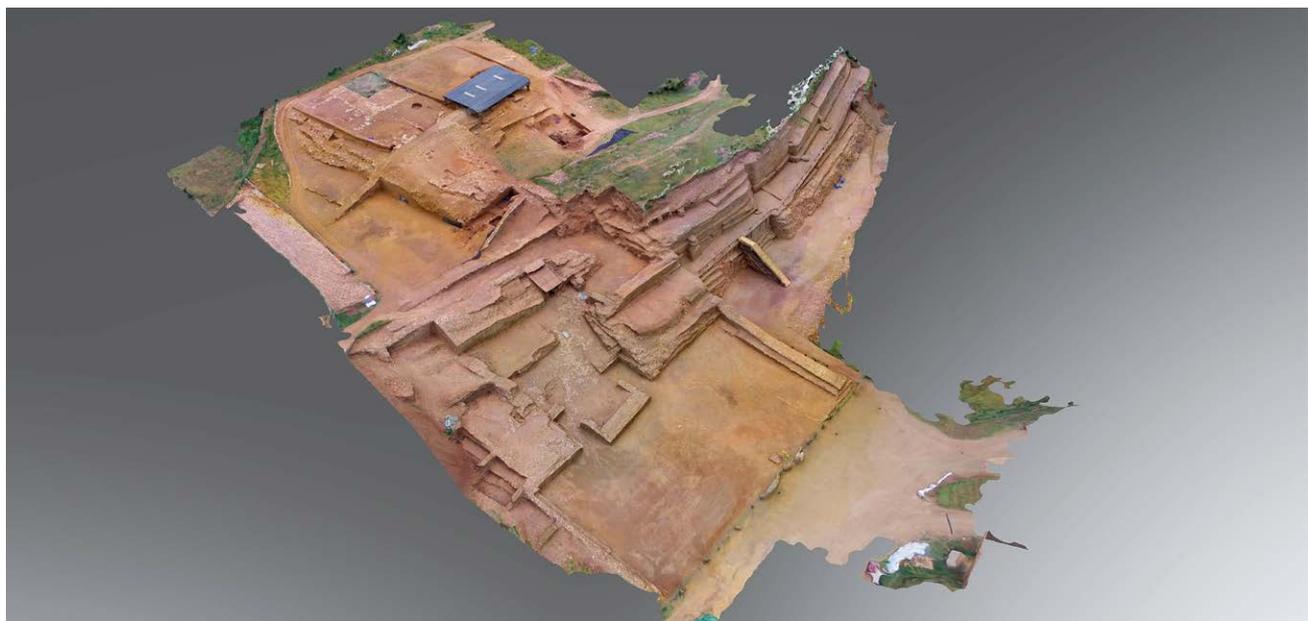


图 15 皇城台门址三维摄影测量模型,2018年6月
(作者团队测绘)

① 等高线间隔10米,西城城墙长(棕色线部分)9140米,东城城墙长(黄线部分)4410米。
② 等高线间隔2米,城门建在山坡上。



图 18 在山坡上利用地形建造一连串截面呈三角形平台（从北望南）
（作者自摄）

地，平整之后的台地承载巨大的墩台和障墙（图 18）。

石峁考古至今尚未发掘墩台，目前主要的研究对象是现场地形和城门结构。关于皇城台城门的施工顺序和建筑技术，笔者的研究结论如下（图 19）：

1) 根据地形，挖六道基槽作为挡土墙的基础，挡土墙的作用是支撑山坡、防止土体变形失稳。

2) 沿等高线修建三段台地（南侧）。在挡土墙之间，填土掺杂石块并捣实，形成坚硬、平坦的表面，断面呈三角形，作为南、北墩台和后障墙的基础。

3) 南、北两个夯土墩分别建在准备好的台地上。夯土墩外包石墙，起抵抗土的横向推力和雨水侵蚀作用。后障墙建造在第三个台地上，由一对平行石墙组成。前障墙竖在山坡下，平面“U”形。两道翼墙在城门前两侧，划定了广场边界。

4) 后障墙的背后是皇城台的挡土墙。在第三个台地上，后障墙南端，加建了一堵东西向石墙，将交通路线指向北面壁柱厅入口。壁柱厅前后各设一个门塾。

皇城台城门属楼式城门，入口两侧各有一座墩台门楼。墩台平面长方形，建在基座上，基座建在事先准备好的场地上。考古发现，墩台的核心是夯土高台。土芯周围是一圈 3 米至 3.5 米厚的石墙，本文称为封闭墙。封闭墙以泥土黏结石块构成，墙内横向施原木。以广场地面到墩台顶中心计，两座墩台的现存高度分别为：北墩台土芯约 6 米，南墩台约 4.5 米。发掘时，南墩台上发现白灰面铺地，发掘者认为这是一座与皇城台非同期建筑的遗迹。

南墩台平面 13.7 米 × 21.2 米，北墩台 26.7 米 × 14 米。这些数据包括土芯和石墙。事实上，封闭墙由两、三层不同厚度的石墙组成，从内向外，逐层减薄。多层石墙不可能一次建造，经过清理和仔细检查，发现墩台角和诸多部分被大幅修复。换言之，经风化和其他破坏之后，石墙曾被翻新或加建（图 20）。此外，封闭墙的最外层建在中庭的石铺地面上，表明它们是在城门建造主要阶段之后加建的，这些后来增建的石墙宽度约 1 米。本文称原来建的石墙为主墙，后加建的为护墙。多层石墙显示了皇城台城门持续不断的维修历程。

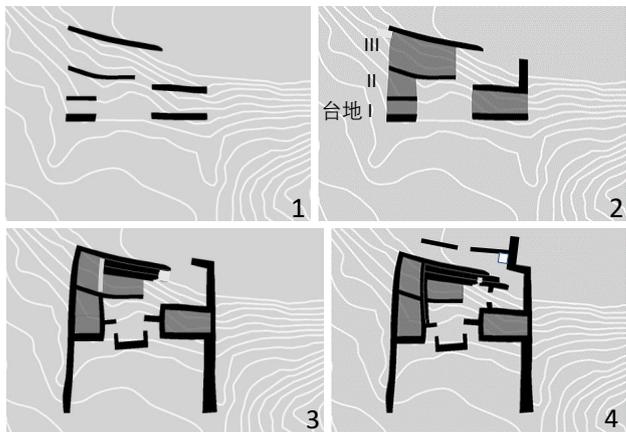


图 19 皇城台城门施工过程（推测）：■ 石墙，■ 夯土。
（作者自绘）



图 20 从南墩台看北墩台，摄于 2018 年 6 月
（作者自摄）

北墩台的后墙是壁柱厅的东墙，目测这堵墙建在北墩台上。为了调查其基础，在它的北端沿墙向下挖洞，深约 2 米，在达到原始土之前停止挖掘，据此推测这堵墙是建在事先准备好的台地上。

前障墙是影壁墙，平面呈“U”形，长 16 米，宽 3.4 米（夯土芯，外石墙），存高 1 米余，墙面垂直无收分。在障墙的外角堆积层中出土了几块刻有图案的石块，石刻是皇城台的艺术特点。

城门入口对面的后障墙是现场位置最高的墙。后障墙现状由三道平行的墙组成，总厚 10 米，长 24.5 米，墙的上坡侧比下坡侧高。实际上，三道墙中的最后一道墙较前两道墙长很多，它是皇城台的挡土墙，与城门的后障墙结为一个整体。每道墙皆表面光滑，说明它们非一次完成。与前、后两道墙相比，中间一道墙石少泥多。前墙的墙面上可见一排间距规律的洞，为建造时施原木所用。该墙为石块-黄土-原木结构（详见下文）。

广场位于城门正前方，由两个长翼墙分别连接北墩台和南墩台的外角而界定。高大的墩台叠压在翼墙上，翼墙存高约 2 米。广场南北宽约 65 米，东西长 33 米。换言之，城门退到皇城台脚下。在此处的设计中，翼墙具有三个功能：伸出手臂拥抱进入皇城台的人们、从翼墙和墩台三面守卫大门、引导从山坡下来的雨水。皇城台城门靠山坡坡

度自然排水，没有发现排水管道。

“U”形前障墙内，地面坡度为 $15^{\circ} \sim 19^{\circ}$ ，被一对短墙界定出两个高差、大小不同的空间，前低后高，前小后大。短墙自南北墩台向门道伸出约5米，结构功能是挡土墙。本文称这两个空间为前庭和中庭，均为交通空间，地面全部铺片状砂岩，利于城内排水和防止地面侵蚀。在中庭通道中部，一组铺石上刻有铭文式图案，其含义不明（图21）。石面没有磨损的迹象，表明没有轮车作为交通运输工具。

进入壁柱厅的入口在中庭的西北角，入口处发现两个门址。早期门口宽约5米，残存石门槛和木门板（鉴定为松木）。入口场地为下坡，门扇无疑朝外开（图22a）。后期门口宽约2.5米。门前方发现碳化的木门框遗存，这些碳化的木构件表明壁柱厅被火烧毁（图22b）。

壁柱厅平面呈“U”形，土地面，顺坡而建。在其墙壁上，发现有规律间隔的木柱遗存（图23）。笔者的关注点在壁柱厅的原状和功能。原状方面，因为没有门的证据保留下来，壁柱厅的上端是否封闭目前未知。功能方面，壁柱厅地面没有铺石板，而前庭和中庭是石地面，这意味两者使用功能完全不同。综合考虑之后，笔者认为壁柱厅可能是有顶的内厅。

两个守卫室（或称门塾）分别靠近壁柱厅的下端和上端。下卫室挨着后障墙的北端，上卫室贴着壁柱厅的西墙头。两个卫室大小相似，平面均为6.5米×5.5米。上卫室堆积物中发现烧毁的木构件，应该是倒塌屋架的残骸。地面上还发现绘有彩色线条和色块的泥壁残块，应是倒塌墙面的装饰层。这些现象均表明此处是有彩饰和屋顶的房间。这里的壁画图案、颜色和工艺与东门发现的残片相似，同为石峁装饰风格的证据。

上卫室的遗存表明，其结构为石墙支撑木屋架。综合所有资料，可认为房子结构是木屋架上铺石板，房顶为平顶。倒塌在卫室地上烧毁的屋架和嵌在壁柱厅墙上烧毁的木柱，表明了皇城台城门的命运。

皇城台城门布局复杂，作为这一时期该地区这类城门的首例，从功能上看，它是通往皇城台的必经之路。从广场



图21 城门中庭地面石上有铭文式图案
(作者自摄)

开始，通过“U”形的障墙，墙角石上有雕刻；穿过铺石的中庭，地面石上有刻符；进入北墩台后面的壁柱厅，墙上绘有彩画。曲长的城门路线结束在皇城台上的大门前。2018—2019年，石峁考古队挖掘了皇城台大门并清理了入口石铺地。

皇城台城门建筑使用的材料为土、石和木，这些材料都出自当地：山地覆盖的土、沟内的砂岩和河边的树。大体建筑使用的技术是夯土筑台，外包石墙。石墙多层，自内向外厚度逐减，各层墙面均平整。从施工角度解读这些现象可知：石墙砌成后，在现场加工墙面使之平整；城门完工后经历过维修，在主体结构外曾几次加建维护石墙。石峁中一项重要的建筑技术是在石墙内规律地摆放原木，在高度和水平方向上构成结构网。关于其功能，笔者推测原木是墙体的结构构件，在施工中起重要作用。

关于原木的名称，2013年的石峁发掘报告中发掘者借用了“经木”一词。此术语出自《营造法式》（1103年），指夯土城墙内用的横木（“每高五尺施一条”）。《营造法式》是现存最早、最完整和全面的建筑规范。从全球考古资料看，夯土筑墙在青铜时代遍布欧亚大陆，篇幅缘故本文无法详述。从国内考古遗存看，早期城墙为堆筑



a) 早期石门槛和木门扇遗存



b) 后期木门框遗存

图22 壁柱厅门址
(石峁考古队 摄)

Square 3 - plan & photos of pillars

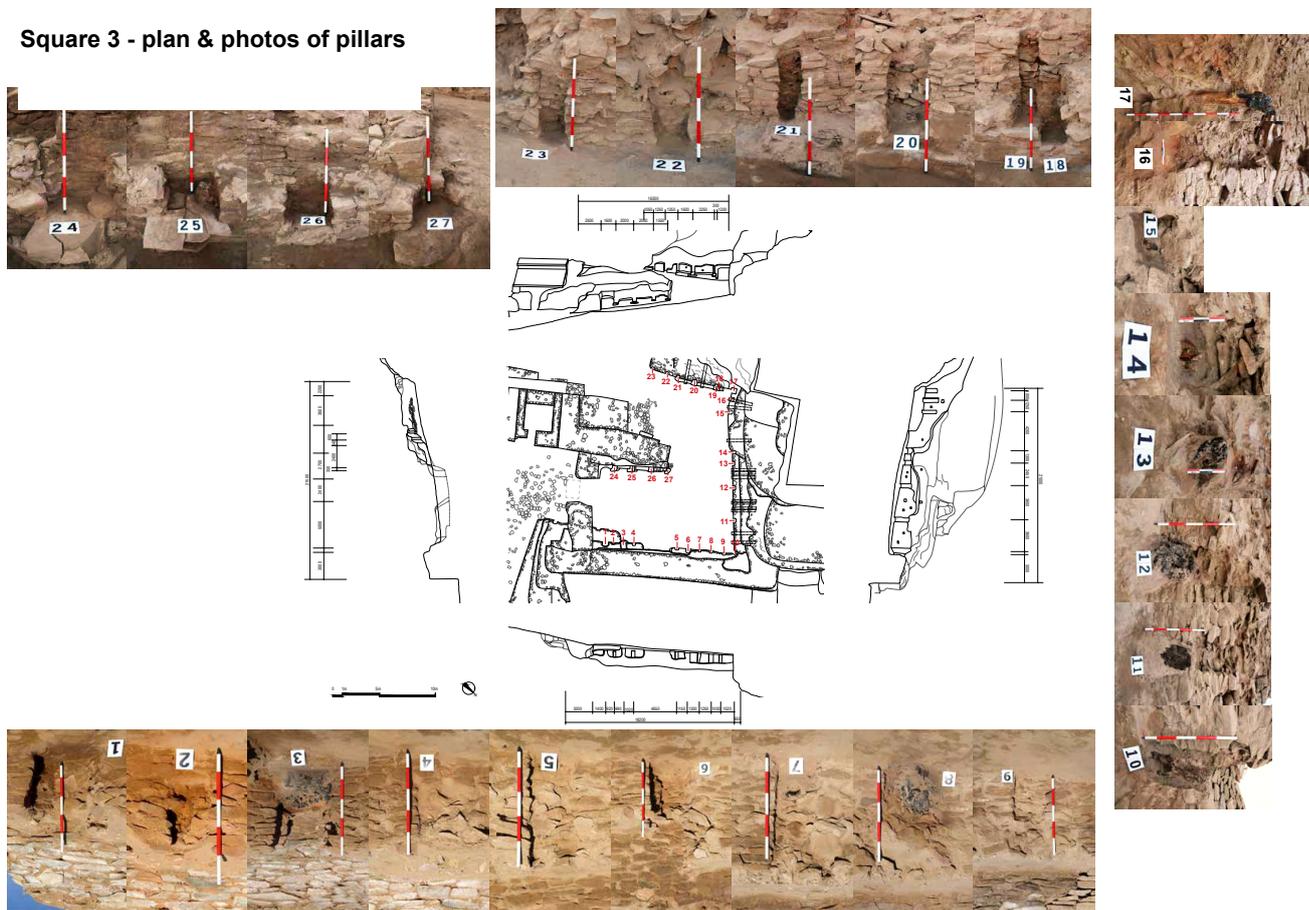


图 23 壁柱厅平面、立面和照片，2018 年 7 月
(作者团队自绘、自摄)

和版筑结合。堆筑/版筑所用之版为稍加斫凿的原木；筑城墙用木桩加固。从现存的文献资料看，《说文解字》有：“幹——夯墙端木也，栽——筑墙长版也，桢——刚木也。”^[9]桢幹也见于《尚书·费誓》。从建筑技术角度看，版筑有两个研究方面：其一，版筑的板。其二，加固的桩。如何用版？如何用桩？在中国建筑史学上，这类问题尚无定论。首位系统注释《营造法式》的学者是梁思成，其著作《〈营造法式〉注释》中关于筑墙筑城之制中施用经木、永定柱和夜叉木等论述多处待考^[10]。近 30 年考古遗址的发现使认识这类问题的线索已经积累了不少。例如，陕西李家崖城址（商晚期—西周早期）的城墙夯土造，外包石墙。在东城墙外侧的附城墙下，铺垫有一排原木。在 28 米高的城墙下共发现 28 个垫木，间距不一^[11]。连云港藤花落城址（新石器时代）的城墙为堆筑加版筑造。城墙中部和两侧排列木桩加固，木桩直径 20~26 厘米，间距 60~70 厘米^[12]。西山城址（仰韶时代）的城墙为方块版筑。版块面积 3~4.5 平方米，版块之间用规整排列的木桩间隔。木桩直径 30 厘米左右。木桩洞内发现朽木灰，应为夯筑完成后留于城墙之中的木桩^[13]。孟庄城址（龙山晚期—商晚期）的城墙墙体内侧有木版留下的灰痕，表明夯筑后，版原位保留，没有被抽走^[14]。《营造法式》中的永定柱（或夜叉木）和经木，大概类于夯土城墙内所用木桩和木版的作用。另外，抽经墙应为夯筑后抽走经木的墙。石峁石墙

中的水平原木，本文沿用经木称谓，以与发掘报告一致。

在皇城台巨大的挡土墙上，腐烂的经木留下的孔很容易识别（图 24）。很多经木保留下来，它们是带树皮和树根的天然树干（图 25）。树根留在墙面之外，说明树是刨出来的。在石峁发现的工具为打制的石刀和磨制的石刀、石铲和石斧，用这些工具处理树根树皮很难。经木水平间距从 1 到 2 米不等，平均水平间距 1.5 米，变化范围不超过 0.5 米。挖掘者认为经木长约 4 米。水平经木网之间的垂直



图 24 皇城台挡土墙有规律地使用横向经木
(作者自摄)



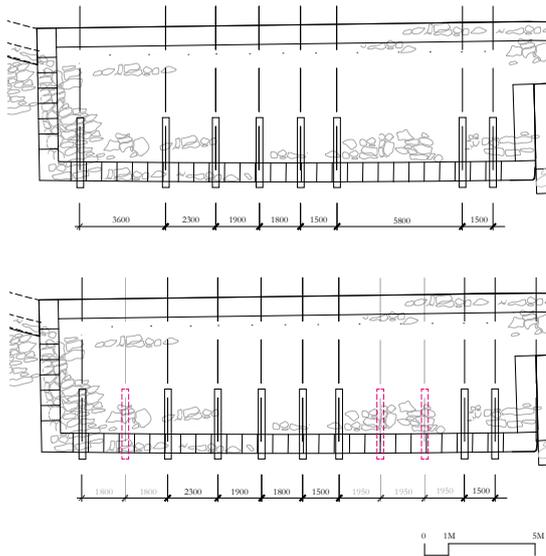
图 25 有些经木伸出皇城台挡土墙外约 30 厘米
(作者自摄)

距离平均 1.5 米，目前尚不清楚是否存在竖向木网。

皇城台城门后障墙的东立面（或下坡侧）残留一排 9 个经木洞（洞径约 30 厘米）。这堵墙存高 1.8~3.8 米，经



a) 后障墙现状



b) 经木洞分布现状和复原

上：墙上残存 9 个经木洞；下：根据间距规律复原 11 个经木。
(作者团队自绘)

图 26 后障墙
(作者自摄)



图 27 在砌墙之前，壁柱贴墙立好
(作者自摄)

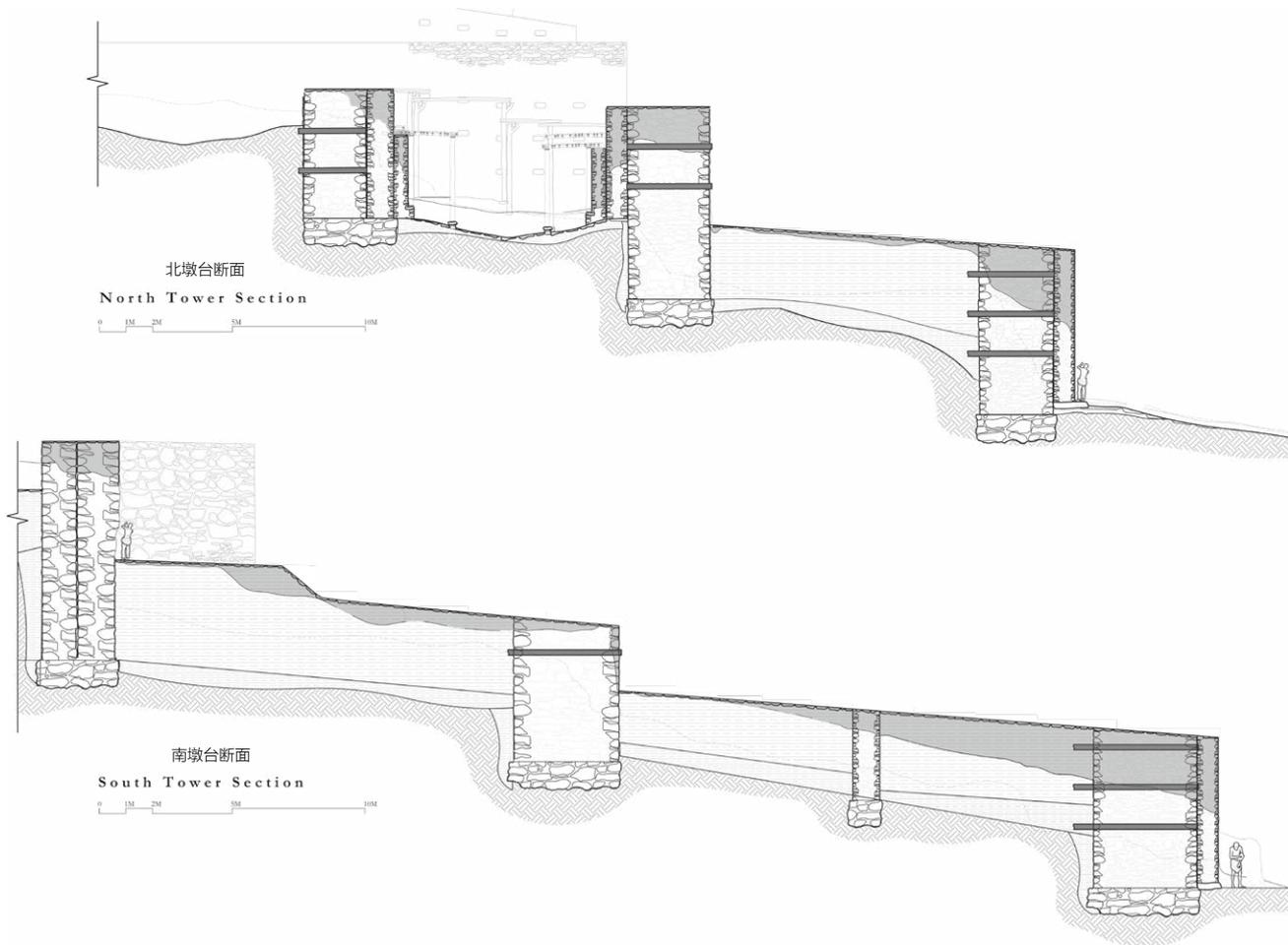


图 28 木柱不存，石基还在
(作者自摄)

木洞之间的距离平均为 2 米（图 26a）。它们标记了其他经木放置的位置，应该总共使用了 11 根经木。如果四个经木为一组，该墙可分三组。换言之，这堵墙可能是分三段建造的，平均每段长度为 7.65 米（图 26b）。关于后障墙的原高问题，笔者观察到经木和石墙之间存在比例关系，进而认为它们之间存在施工关系，即石墙高度由木作和石作共同决定。假定石墙曾使用两排经木，它们之间的垂直间隔为 1.6~1.8 米。因此，后障墙的高度最高 5 米。

壁柱厅石壁上，可见水平方向的经木洞和垂直方向嵌入墙壁的木柱（图 27，壁柱位置见图 23）。在墙的左侧（面向室内），贴墙根有一排柱座，它们比现存地面高 20~30 厘米，壁柱立在石座上（图 28）。有两根幸存的角柱，存高分别为 1.3 米和 1.4 米，直径 30 厘米。壁柱是墙的组成部分，可能有助于支撑屋顶。

综上所述，木料用在三个地方：一，门口：木制门框和门扇。二，厚石墙内：原木垂直于墙立面，有规律地摆放。三，壁柱厅：木柱嵌入石墙。它们加固石墙，可能支撑屋顶。壁柱厅跨度 8 米，地面上没有发现柱子痕迹，因



上：北墩台；下：南墩台。注：深色表示复原部分。

图 29 皇城台城门断面图（复原）
（作者团队自绘）

此不能确定也不能排除壁柱厅被完全覆盖的可能。皇城台使用的木材经鉴定：壁柱厅入口木门为松木，壁柱厅内的壁柱为柏木，经木的树种为侧柏。

石作和木作技术在石峁占主导地位，这在东门、皇城台城门和皇城台挡土墙中显而易见。经木用于石墙不仅有助于提高墙体的结构稳定性，还为分段施工发挥作用，并在施工过程中充当“脚手架”。

城门的特点是石墙中使用经木，依据是北墩台的东面可辨认出几个经木洞。因此，经木是复原的切入点。整合已有信息之后，对北墩台的高度做出以下推论：墙体使用了三层经木，每层之间的垂直距离约 1.5 米。墩台顶为排水而建成缓坡，并且上铺石面，墙外围有堞。墩台的高度最大 8 米（图 29）。

皇城台城门屹立四千年之久，仍然保留相当的高度。与广场地面相比南墩台高 4.5 米，北墩台高 6 米。假设两墩台仅失去了顶部，排除了增加墩台高度的必要，仅复原台顶形状（图 30）。

4 建造皇城台城门用功

“功”这一名词的含义，据《辞海》^[15]：“劳绩也”，“事

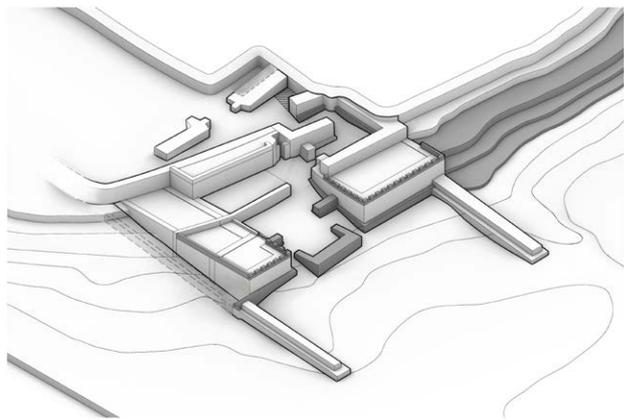


图 30 皇城台城门复原
（作者团队自绘）

也”，“精善也”；又：“功作，工作也”。功限一词来自《营造法式》。《中国古代建筑技术史》对这一词语的解释是：“《营造法式》的计算用工量的定额，称为‘功限’。我们可以由此对于宋代工程预算中劳动日的计算的精密周详，得到深刻印象。”^[16]《营造法式》是宋朝颁行的规范，旨在估工算料，为工程预算提供依据。编纂者在前人和当时工匠的经验基础上，对建筑式样和尺度、材料制备和各工种的

用工量(“定功”)做了详细规定^[17]。

皇城台城门工程规模浩大,窥探其工期,需要了解以下几个方面信息:工程组成、组织结构、管理技术。本文基于考古资料,依循《营造法式》的定功方法,估算皇城台城门的用工量、施工时间和劳动力方面的信息。这样做的的原因是,《营造法式》“功限”条目是研究传统营造用工的唯一参考文献。《营造法式》成书时间和石峁相差3000年左右,在这段时间内传统筑城技术不可能无变,但应无大变。不妨将传统营造的“功限”当作一个连续的整体来看待。本文依据考古和文献,尝试讨论皇城台城门功限如次。

石峁有关资料如下:东门墩台内为夯打密实的夯土,条块清晰、夯层明显、土质坚硬,墩台外包砌一周石墙。墙体上发现一些排列有序的孔洞,其内有圆形朽木痕迹,木洞周围敷以草拌泥加固。这些孔洞应为嵌入石墙内的树干所留。皇城台门址南墩台清晰发现小版块夯筑迹象,版块呈长方形,土色因夯块不同有差异,以黄、白、褐色为主,土质坚实。北墩台夯土芯土色以黄色和深褐色为主,土质较硬。目前尚不了解夯土层厚度,夯窝形状、大小和分布规律。

夯土和版筑是古老的建筑技术,原则是:铺土于基槽内(筑基)或模板之间(筑墙),夯筑打实。那么,如何夯?怎么打实?用什么工具?

夯筑方法和规定可见于《营造法式》,在“壕寨·筑基”条(卷三)详述为:

筑基之制,每方一尺用土二担。隔层用碎砖瓦及石扎等,亦二担。每次布土厚五寸,先打六杵(二人相对每窝子内各打三杵)。次打四杵(二人相对每窝子内各打二杵)。次打两杵(二人相对每窝子内各打一杵)。以上并各打平土头,然后用杵碾碾令平,再攢杵扇扑,重细碾碾。每布土厚五寸,筑实厚三寸。每布碎砖瓦及石扎等厚三寸,筑实厚一寸五分。^[17]

不同时代和地区使用的夯筑工具不尽相同:河南登封王城岗城墙(公元前2455±109年)用鹅卵石作夯具,河南淮阳平粮台建城(公元前2045±175年)用四根木棍绑成的夯具^[18]。郑州商城西墙显示夯窝直径2~4厘米^[16],应是用木杵夯成。

版筑夯土层厚度的相关资料有:楚国皇城台的夯土层厚为12~21厘米;燕下都城夯土层厚8~12厘米,魏国阴晋城夯土层厚7~8厘米,汉长安城夯土层厚8~10厘米。可以说,夯土层厚度多在10厘米左右,最大20厘米(宋尺3~6寸)。

本文以夯土筑造方法分析皇城台,并参照《营造法式》的规定,估算筑造皇城台城门所需人工。运用《营造法式》所载的用工规定和计算方法,在皇城台城门复原研究和石

峁建筑石料来源研究的基础上,对其建造所需要的用工人数和时间的估算。应当指出,宋代的施工工具,如挖土所用的锹,运土、石用的篮等,应比建造石峁皇城台使用的工具先进。因此,所估算的人工应为下限。

《营造法式》对各工种的“功”有详细规定。功是一个熟练工人在一个工作日所能完成的工作量。阴历二月、三月、八月、九月的工作日为标准工作日,其工作量称为“中功”。以“中功”为限,称“功限”。《总例》条:

诸式内功限,并以军工计。若和雇人造作者,即减军工三分之一(谓如军工应计三功,即和雇人计二功之类)。^[17]

这是说,军工是标准工。如果一个军工一天的工作量为为一功,民工则为三分之二功。换言之,一个军工干两天的活儿,一个民工需干三天。

计算筑城用的工作量的规定见于《营造法式》卷十六“壕寨功限”。工种包括:挖掘,搬运,筑城(砌筑石块、夯实渣土、刮削墙面)和磨石块表面等。在一定程度上,壕寨功限涉及施工管理,内容如下(不甚相关者略去):

总杂功

诸干土六十斤为一担(诸物准此),如粗重物用八人以上、石段用五人以上可举者,或琉璃瓦名件等,每重五十斤为一担。

诸于三十里外搬运物,一担往复一功^②。若一百二十步以工组计^③。每往复共一里,六十担亦如之(牵拽舟车伐,地里准此)。

诸功作搬运物,若于六十步外往复者(谓七十步以下者),并只用本作供作功。或无供作功者,每一百八十担一功。或不及六十步者,每短一步加一担。

诸于六十步内掘土搬供者,每七十尺一功(如地坚硬、砂礓相杂者减二十尺)。

诸自下就土供坛基墙等用本功。如加膊版高一丈以上者,以一百五十担一功。

诸掘土装车及装篮每三百三十担一功(如地坚硬或砂礓相杂者装一百三十担)。

筑基

诸殿阁堂廊等基址开掘(出土在内,若去岸一丈以上,即别计搬运功),方八十尺(谓每长广方深各一尺为计),就土铺填打筑六十尺各一功。若用碎砖瓦石渣者,其功加倍^④。

筑城

诸开掘及填筑城基每各五十尺一功。削掘旧城及就土修筑女头墙及护险墙者亦如之。

诸于三十步内供土筑城^⑤,自地至高一丈,每一百五十担一功(自一丈以上至二丈,每一百担;自二丈以上至三丈,每九十担;自三丈以上至四丈,每七十五担;自四丈

① 据李焘《续资治通鉴长编》卷261“军器监上所编敌楼马面团敌法式及申明条约并修城女墙法式,诏行之”。可见宋神宗时起用王安石变法编立多种法式。
② 搬运土、石等,距离被计算入功。
③ 工指工地;组意中心;工组即工地中心部分。下面有进一步解释。
④ “总例”条:诸物称尺者,皆以方计。即立方尺。
⑤ 搬运来的土、石堆积在离工作地点30步以内的地方,供筑造使用。

以上至五丈，每五十五担同。其地步及城高下不等准此细计)。

诸纽草萋二百条，或斫椽子五百枚，或刻削城壁四十尺(搬取膊椽功在内)，各一功。^[17]

《营造法式》所载用工量的条文显示：一，各个工种用工量标准化，按实际工作情况(距离远近、工作难易)增加或减少所值的“功”；二，各个工种基本由“本功”完成所有需要做的工作。在工作(如搬运)距离远于70步时，另使用杂工；三，使用两种单位计量工作量：重量单位(担)和体积单位(立方尺)。重量用于计量搬运的松散物体——如土、石、砖和瓦等，体积用于计量挖掘和填筑等工作。

本文使用《营造法式》的规定算工：一，“一里六十担”等同于“六十里一担”。换言之，“功”=距离×重量，或“功”=步×担。按宋制360步等于一里，一个搬运功等于21600步×1担。二，施工工地的“工纽”范围为一百二十步，即半径六十步(92米)的圆。其中各工种作业用工，按各工种的“本工”计。这个规定适用于七十步内(108米^①)的“供作工”。如果需要“本工”外的人搬运，则按180担一功计。按180担60步往返，工作量等于21600步×1担。如果往返距离小于60步，则每短一步加一担。按这个算法得出的“步×担”值小于21600。例如，50步往返，190担一功，每功只有19000步×1担。这应是考虑了装篮和休息所需的时间。三，“就土铺填打筑六十尺各一功”说明铺填和打筑是两项分别计算工作量的工作。从劳力上看，高度的增高增加运土难度。所以，“供土筑城”铺填所需要的功随高度变化，而打筑用功不变。

皇城台城门墩台用土夯筑，夯土台外用片石加泥砌石护墙。《营造法式》中与之相近的用工量为“筑基”中的：“就土铺填打筑六十尺各一功。若用碎砖瓦石渣者，其功加倍”^[17]。下面的计算中，假定夯土打筑部分60立方尺一功，砌石护墙(包括和泥)每30立方尺一功。

《营造法式》的数值是以宋代的长度、重量单位表达的。



图31 皇城台城门材料分布和面积 石墙，夯土
(作者团队自绘)

根据吴承洛^{[19]66}的调查研究，宋代与现代的换算比率以及常用单位的换算关系为：长度单位：一尺=0.3072米，一步=5尺=1.536米，一里=360步=110.592米(注：“步”的定义是：左、右腿各向前一跨为一步。自唐代至中华民国初期，以五尺为步，三百六十步为里)。重量单位：一斤=0.59682千克，一担干土=六十斤=35.8092千克。体积单位：一立方尺=0.02899立方米。

5 皇城台城门土、石方计算

障墙、翼墙和墩台护墙都为石墙。墙体为平整砂岩石片错缝平砌而成，石片间用草拌泥。墙面齐整平直，表面应经打琢修平，但墙体内部填充的石块较为散乱。墙体下有石块基础。墩台石护墙由主墙(厚3~3.8米)和护墙(厚1~1.2米)组成，墙体内壁与夯土芯相接处石块垒砌平整。

本文假设：石墙两壁整齐部分共厚1米，余为散乱部分；高度按复原计算(图29)；石墙下的基础平均深0.5米。皇城台城门建在准备好的台地上，即根据地形修整台地并挖基槽。由此，计算得到皇城台城门(除壁柱厅北壁)的石方量，石墙总体积6938立方米；土方量，夯土总体积1640立方米，包括挖墙基和平整土地得到的1225立方米(图31)。

依《营造法式》计工法，以体积计挖掘用工，以重量和距离计搬运用工。本文假设材料的物理性质为：地面土(挖掘)密度每立方米1800千克。夯土“每方一尺，用土二担”换算成现代公制，为每立方米2470千克。石材(片石、石块)密度每立方米2700千克。

皇城台的取石遗迹，按贺黎民的调查^②，有一处在皇城台西南方石崖边，由此得到采石点距“工纽”距离^③(图32)。假定采石每70立方尺一功；装篮330担一功。“工纽”外取土在距工地中心120步的范围内，平均90担一功。掘土按“地坚硬或砂砾相杂”计，50立方尺一功；装篮130担一功。

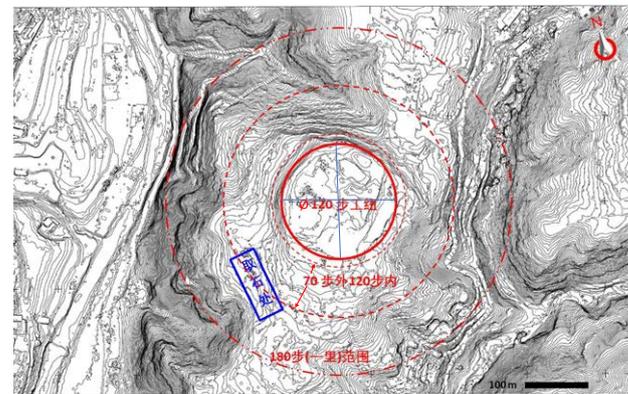


图32 皇城台工地和取石、取土范围
(作者团队自绘)

① 换算关系见下文。

② 贺黎民《试析石砦遗址建筑材料的来源——地质学的视角》(待出版)。

③ 工纽是120步直径的圈；距离指直线距离，即半径。

石墙用料：每砌筑1立方米的墙体，平均需土0.3648立方米，水0.1396立方米。土未经捣实，可视为堆积体积。经笔者实验，土和成泥后密度随水量增加而提高，在含水量相同的情况下，其密度与堆积密度的比值约为1.6。由此，可以得出（取两位有效数字）：石墙中泥的体积为0.35立方米（包含密实土0.24立方米），石体积（不计空隙）0.65立方米，水0.11立方米（部分水被土、石吸收）。墙体内部石块散乱部分，草拌泥和石块不规则混合，假定单位体积土、石含量均为50%（草拌泥的草忽略不计）。

墙体密度按土、石密度和各自所占比例计算。石墙平整平直部分的土密度按泥土计，墙体密度 $=2700 \times 0.65 + 1800 \times 0.24 = 2187$ （千克/立方米），取三位有效数字，为2190千克/立方米；墙体内部石块散乱部分的土密度按夯土计，墙体密度 $=2700 \times 0.50 + 2470 \times 0.50 = 2585$ （千克/立方米），取三位有效数，为2590千克/立方米。

计算结果为：石料总体积3965立方米，土总体积4430立方米（包含挖掘土方1225立方米），需在工组以外取土

3206立方米（表1）。筑石墙用草拌泥，和泥需要用水364立方米。需要说明的是装水工具不详、取水地点尚未调查。因此，取水和运水的用工没有计算在内。

关于工作时间，《大唐六典》云：“凡役有轻重，功有短长。”^[20]《营造法式》中“看详·定功”条：“夏至日长，有至六十刻者。冬至日短，有至于四十刻者。若一等定功，则枉弃日刻甚多。今谨按《唐六典》，修立下条。诸称功者，谓中功。以十分为率，长功加一分，短功减一分。诸称长功者，谓四月、五月、六月、七月^②。中功，谓二月、三月、八月、九月。短功，谓十月、十一月、十二月、正月。”^[17]显然，这是尽量利用日照。

古人以一昼夜为100刻。“看详”所述夏至60刻，冬至40刻是河南的大致日照时间。《营造法式》没有明确说明“中功”是多少刻。假设“中功”为50刻，则“短功”为45刻，冬至前后有5刻（1.2小时）是无日光时间。考虑到“短功”也应在有光照的时间活动，较合理的工作时间是“中功”45刻（10.8小时/天），“长功”49.5刻（11.88小时/天）和“短功”40.5刻（9.72小时/天）。

表1 皇城台土石体积

部位	总体积（立方米）	土含量（%）	石体积（立方米）	取土体积 ¹ （立方米）
石墙立面整齐部分	3309	24	2151	794
石墙内部散乱部分	3629	50	1815	1815
夯土	1640	100	0	2250 ²
整备场地，挖地基	1225	100	0	-1225
总计	9803	/	3965	3634

注：1. 建筑工地以外取土。

2. 1640立方米夯土的质量等于2250立方米地面土的质量。

《营造法式》所列各项工种用功中，可以与现代相比较的是搬运，因为它与搬运距离和步行速度紧密相关。一般而言，人的步行速度为每小时3~5公里。挑重担时不能持续快走，但空担时可以快些，因此，可以假定平均行走速度为3500米/小时。又，假定装篮速度为每分钟一担，所用时间为：

“三十里外搬运物，一担往复一功”，三十里往复等于33.2公里，需要9.5小时，约40刻。“60步往返180担一功”，总距离33.2公里，加上装180担，共需要12.5小时，即，工作时间的上限。“不及六十步者，每短一步加一担”，30步往复，装210担，共需要9小时，属一般工作时间。60至30步的搬运量和需用时间如图33所示。

应当指出，这样计算得到的是净工作时间和恒定的工作效率。实际工作需要的时间应更多。

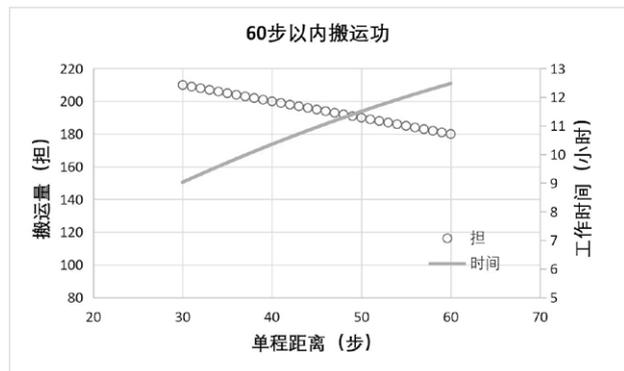


图33 《营造法式》诸功作搬运物用人工和所需时间

按《营造法式》的定功方法计算，得出皇城台城门总用工量为30572功（中功），即30572人×1天。上文提

① 由贺黎民通过个人通信提供数据。

② 这里所指为农历。

到,《营造法式》规定三个雇工相当于两个军工。如果在阴历二、三、八、九月(总共118天)完成,需要雇工389人,或军工259人。两者人数不同出于工作时间长短不同(一

个雇工的工作量是一个军工的三分之二),或有效工作时间存在差别(雇工6小时/天,军工9小时/天)(表2)。

表2 工种内容、材料用量和用“功”量

材料	工种	体积 (立方米)	密度(千克/立方米)	宋制用量 ^①	单位功	功 (人×天)
石	挖掘	3965		136779 尺	70 尺/功	1954
	装篮	3965	2700	358785 担	33 担/功	1088
	搬运(平均120步)	3965	2700	358785 担	90 担/功	3987
土	整修场地、挖掘基础	2064		71187 尺	50 尺/功	1424
	掘土(不包括基础)	3634		125345 尺	50 尺/功	2507
	装篮	5698	2470	393005 担	130 担/功	3024
	搬运(70~120步)	3634	2470	250653 担	90 担/功	2786
	搬运基槽土(70步内)	2064	2470	142352 担	180 担/功	791
	供土,0~1丈	1418	2470	97824 担	105 担/功	932
	供土,1~2丈	222	2470	15280 担	100 担/功	153
	铺填土	1640		56560 尺	60 尺/功	943
	夯筑	1640		56560 尺	60 尺/功	943
	石+土	筑基	717		24735 尺	50 尺/功
供土,0~1丈,墙面 ^②		2511	2190	183996 担	150 担/功	1229
供土,0~1丈,墙芯 ^③		2514	2590	217815 担	150 担/功	1455
供土,1~2丈,墙面		534	2190	39140 担	100 担/功	392
供土,1~2丈,墙芯		716	2590	62022 担	100 担/功	622
供土,2~3丈,墙面		127	2190	9335 担	90 担/功	104
供土,2~3丈,墙芯		150	2590	13582 担	90 担/功	151
砌筑墙面		3172		109413 尺	30 尺/功	3648
填筑墙芯		3381		116606 尺	60 尺/功	1944
					总计	30572

① 计量单位:挖掘土方单位为立方尺(1立方尺=0.03立方米)简称为尺,其余按材料密度换算成重量,单位为担(每担60斤=35.81千克)。

② 墙面齐整平直部分,简称墙皮。

③ 墙体内部石块散乱部分,简称墙芯。

皇城台城门的土石方工量的数学计算表明, 军工 259 人或民工 389 人在 4 个月里整备工地、准备材料和建造大门是可能的。但是, 必须外加足够的劳工收集和运输材料、制造和修理工具等。例如, 城门建设需要 4000 立方米石块, 图 32 所示的取石处恐难满足需要, 必然多处取石。此外, 准备草拌泥的草、斩草、供水和编泥篮都需要人工。水可能取自沟里的溪水, 或台上有蓄水池。总体考虑, 估计在材料供应方面投入的人力应多 50%。换言之, 以中功计, 总体应为 45000 工作日。

本文将石崩皇城台城门在公元前 2300 年到公元前 1800 年左右这一段时间之建筑形式和营造活动作了重建和拟测:

石崩城由东、西两部分组成, 皇城台位于西城中部偏西。皇城台城门是进入皇城台的必经通道, 这是一座布局复杂的墩台式城门, 建筑技术为夯土高台, 石墙围护, 内用木骨。建筑装饰有石雕和彩画。到目前为止, 石崩没有发现文字。城门中庭地面上的石文符号, 或是文字的前身。建造该城门用工约 400 人, 时间 4 个月。皇城台城门为进一步研究石崩提供了良好的资料。

[感谢李沁园在 3D 摄影测量、阎郑在制图方面给予的特别帮助。墨尔本大学建筑学硕士生(2018 年第 2 学期第 5 工作室)参与了研究项目。]

参考文献

- [1] ZIMMERMANN T, ÖZEN L, KALAYCI Y, et al. The Metal Tablet from Boğazköy-Hattuša: First Archaeometric Impressions[J]. *Journal of Near Eastern Studies*, 2010, 69 (2): 225-229.
- [2] 国庆华, 孙周勇, 邵晶. 石崩外城东门址和早期城建技术[J]. *考古与文物*, 2016 (4): 88-101.
- [3] 国庆华. 龙山文化晚期石崩东门中所见的建筑文化交流[M]//王贵祥, 贺从容, 李菁. *中国建筑史论汇刊: 第 14 辑*. 北京: 建筑工业出版社, 2017: 367-388.
- [4] SEEHER J. Chronology in Hattusa: New Approaches to an Old Problem[M]//MIELKE, SEEHER, SCHOOP. *Structuring and Dating in Hittite Archaeology: Requirements, Problems, New Approaches*. İstanbul: Ege Yayınları, 2006: 197-213.
- [5] NOSSOV K, DELF B. *Hittite Fortifications c. 1650—700 BC*[M]. Oxford: Osprey Publishing, 2008.
- [6] SEEHER J. A Mudbrick City Wall at Hattusa: Diary of a Reconstruction[M]. İstanbul: Ege Yayınları, 2007.
- [7] CRAWFORD H. *Sumer and the Sumerians*[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2004.
- [8] WRIGHT G. *Ancient Building in South Syria and Palestine*[M]. Leiden: E. J. Brill, 1992.
- [9] 许慎. *说文解字* [M]. 北京: 中华书局, 1963.
- [10] 梁思成. *营造法式注释: 卷上* [M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1983.
- [11] 陕西省考古研究院. 李家崖 [M]. 北京: 文物出版社, 2013.
- [12] 南京博物院, 连云港市博物馆. 藤花落: 连云港市新石器时代遗址考古发掘报告 [M]. 北京: 科学出版社, 2014.
- [13] 张玉石, 赵新平, 乔梁, 等. 郑州西山仰韶时代城址的发掘 [J]. *文物*, 1999 (7): 4-15, 97, 1-2, 1.
- [14] 河南省文物考古研究所. 辉县孟庄 [M]. 郑州: 中州古籍出版社, 2003.
- [15] 舒新城. *辞海* [M]. 北京: 中华书局, 1936.
- [16] 中国科学院自然科学史研究所. *中国古代建筑技术史* [M]. 北京: 科学出版社, 1985.
- [17] 李诫. *营造法式: 三十四卷* [M]. 上海: 商务印书馆, 1954.
- [18] 杨宽. *中国古代都城制度史研究* [M]. 上海: 上海人民出版社, 2003: 9-14.
- [19] 吴承洛. *中国度量衡史* [M]. 上海: 上海书店, 1984.
- [20] 唐玄宗. *大唐六典* [M]. 台北: 文海出版社, 1974.
- [21] VAN ESS M. *Uruk: Architektur II, Von der Akkad- bis zur mittelbabylonischen Zeit*[M]. Mainz am Rhein: P. von Zabern, 2001.
- [22] *Uruk: 5000 Jahre Megacity*[M]. Petersberg: Michael Imhof Verlag, 2013.
- [23] DAMERJI M. *The Development of the architecture of doors and gates in ancient Mesopotamia*[D]. Tokyo: Kokushikan University, 1987.
- [24] GUO Q, SUN Z, SHAO J, et al. Reconstruction of the Shimao citadel gate: Planning and construction of Huangchengtai gate during the 2nd millennium BCE, China[J]. *Archaeological Research in Asia*, 2020, 22 (6).