

中国古代地基基础技术研究

杨国忠, 闫超

(河南大学土木建筑学院, 河南 开封 475004)

摘要: 中国是世界文明古国, 其古代建筑独具特色, 创造了一系列地基基础的先进技术, 取得了辉煌的成就。原始社会人们就懂得夯实土层可以增加土的承载力, 能够提高建筑物的稳定性, 发明了夯土地基, 而后再创造了强度更高, 耐久防潮性能优越的灰土地基、砖渣地基。古人非常重视地质因素对夯土地基的影响, 战国时期发明了“相土”、“验土”等科学方法。中国古代桩基技术有着悠久的历史和高超的水平, 原始社会时期就有木桩基础。夏代采用了“柱础”, 增强立柱的稳定性, 并减轻土中的水分对木柱根部的侵蚀。商代出现了在柱与础之间加放铜质垫片的构造做法, 有效避免了木柱埋地而腐朽。宋代创造性地应用了“筏形地基”技术。别具特色的中国古代建筑台基除承托荷重外, 还具有避水防潮、调适比例、标志等级等特殊功效。中国古代砖塔等高层建筑基础技术也成就非凡。

关键词: 中国古代建筑; 地基; 基础; 台基; 技术成就

中图分类号: TU47 文献标识码: A 文章编号: 1000-4548(2011)S2-0450-04

作者简介: 杨国忠(1955-), 男, 教授, 硕士生导师, 主要从事中国古代建筑技术研究工作。E-mail: gzyang@henu.edu.cn。

Technology of Chinese ancient foundation

YANG Guo-zhong, YAN Chao

(School of Civil Engineering and Architecture, Henan University, Kaifeng 475004, China)

Abstract: China is an ancient country in the world, and its architecture is unique. It has created a series of advanced technologies of foundation and gotten brilliant achievement. The primitive people have learned to ramming the soil layer to increase the soil bearing capacity and improve the stability of the buildings. So they invented the rammed-earth foundation, and then created dust foundation and slag brick foundation. The ancients attached great importance to geological factors on the impact of foundations; they invented “watch earth”, “soil test” and other scientific methods during the Warring States period. Chinese pile technology has a long history and superb level. The people of the Xia Dynasty adopted the “column base” to enhance the stability of the column and reduce the erosion of moisture in the root of the poles. The people of the Shang Dynasty put the copper gasket between the columns to avoid the decay of wood effectively. And the people of the Song Dynasty made use of the “raft foundation” technology creatively. Chinese ancient architecture platform supports the weight of the buildings and creates the effects of water protection, proportion of signs adjustment. The ancient Chinese pagoda-based technology is an extraordinary achievement.

Key words: Chinese ancient architecture; ground; base; platform; technical achievement

0 引言

中国是世界四大文明古国之一, 华夏建筑历史纵贯古今, 流播域外。中国古代建筑从产生、演化、发展、传承, 形成了自己独有的艺术特色和技术特点, 凝结了灿烂的中华文化, 取得了辉煌的技术成就, 创造了世界建筑史上众多奇迹, 产生了巨大影响, 它是人类建筑宝库中极其珍贵的遗产。中国古代建筑有着深刻的科学内涵和突出的技术成就供我们挖掘和借鉴。学术界对中国建筑虽有大量的研究, 但有“重今轻古”的现向。即便是对古代建筑的研究, 也呈现出

“重艺轻技”的倾向, 多为其优美的形象所吸引, 对其技术特点却研究很少^[1]。然而, 就在这些少量的古代建筑技术研究中, 还存在着“重上轻下”问题, 人们注重对地上屋顶、屋身的研究, 忽视了对地基基础系统深入的探讨^[2]。我国幅员辽阔, 全国各地遗存相当数量的古迹, 进行古建筑地下结构的深入而系统的研究十分必要。这对于全面了解和深刻认识中国古代建筑历史, 弘扬中华民族传统文化, 达到古为今用和中为洋用, 都有重要意义。本文对中国古代建筑地基

基础技术的研究, 在深度和广度上有所开掘和拓展, 对其科学内涵进行提炼整合, 提出了一些新的看法。

1 中国古代建筑地基

地基是指建筑物基础以下的地层, 它承受着全部建筑物的重量。从远古穴居开始, 华夏民族就一直在与土打交道, 对以土作为天然地基的认识逐步加深, 而后创造了一系列人工地基工程的先进技术。

1.1 中国古代地基的地质勘察技术

我国幅员辽阔, 基地土壤多变复杂。古人在地基夯打施工前, 非常重视地质因素的影响, 特别注意土质特征的选择, 发明了“相土”、“验土”等科学方法。

古代把工程准备中的地形地质考察称为“相土”。

《史记》记载战国时期伍子胥在规划吴都(今苏州)时进行了“相土尝水”, 即对城市基地作了水文和地质的调查。宋《营造法式》规定“凡开基址, 须相视地脉虚实”。元《河防通议》也提出项目开工前“必知地理形势之便, 土壤疏厚之性, 然后可以言事”。

古人为慎重起见, 在打造地基之前进行“验土”, 有“辨土法”和“称土法”等。辨土法是在基址选定后, 先开挖探井验土, 以“土细而不松, 油润而不燥, 鲜明而不暗”为佳。古代的这种穴井勘探方法与现代勘探中的坑探法非常相似。《相宅经纂》称土法规定: “取土一块, 四面方一寸称之, 重九两以上为吉地, 五、七两为中吉, 三、四两凶地。或用斗量土, 土击碎量平斗口, 称之, 每斗以十斤为上等, 八九斤中等, 七八斤下等。”其吉凶观念的本质内涵是指土壤的密实性和坚固性, 以此来推断地基透气渗水性的优劣和承载能力的大小, 并非迷信。

1.2 中国古代地基的工程建造技术

人工地基的施工方法主要是夯打, 按其构成材料分为素土夯打地基和复合土夯打地基。

(1) 素土夯打地基

素土夯打地基, 即通常人们所说的夯土地基。我们的祖先在原始社会就懂得夯实土层可以增加土的承载力, 能够提高建筑物的稳定性。据考古发掘, 西安半坡居住遗址的柱底垫土和柱洞填土是经过夯实的。到了奴隶社会, 大面积的夯土地基开始发展起来。河南偃师二里头所发掘的早商宫殿遗址的夯土地基面积竟达 1万m^2 , 深入地层约 2m 。其做法是采用纯黄土整片分层夯实, 至今仍坚实异常。说明它具有相当的抗湿陷性和抗水土流失性。商末的河南安阳小屯宫殿遗址同样采用板块的夯土地基, 施工质量更高(每一夯层厚 $5\sim 7\text{cm}$, 用直径 $4\sim 5\text{cm}$ 的木夯头分层密集成)。

(2) 复合土夯打地基

古人在不断营建过程中发现, 在地基土壤中加入一定量的烧土制品碎渣(如红烧土碎片、陶粒、瓦砾、砖渣等)或石灰, 经夯打后其强度较通常的夯土地基有显著提高, 而且在耐水、防潮方面也有很大优越性。

河南洛阳王家湾原始社会建筑遗址夯土墙下的地基是加有红烧土夯实加固的。现存的山西五台山唐代南禅寺大殿, 其做法是在黄土中渗入约 $1/3$ 的瓦碴和碎砖, 然后分层夯实。古代工匠为节省人力和材料, 根据瓦碴地基比夯土地基的强度大为提高的特点, 也有不用满堂夯筑, 而仅在柱下和墙下进行挖坑夯筑的做法。山西芮城元代建造的永乐宫便是一例。此外, 在上海元代的真如寺大殿还出现过用废碎铁渣来代替瓦碴的做法。福建福州新店古城的汉代城墙的基础下也发现有厚约 40cm 的纯砂层, 砂层内有铁渣和陶粒, 砂层直接铺在坚硬的鹅卵石自然地层上。

石灰拌土称为灰土, 而土中含砂多者又称三合土。陕西西周时期的周原宫室地面采用了三合土。江苏南京西善桥的南朝墓封门前的地面是采用灰土夯实的。古人采用灰、土拌合是符合现代科学原理的, 灰土中碱性生石灰中的活性 CaO 与酸性黄土中的活性 SiO_2 结合生成 $\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot x\text{H}_2\text{O}$ 胶体, 使之胶结凝聚后强度增大, 而且生石灰吸收土中的水分后, 在放热过程中体积膨胀, 因而压缩了土中孔隙, 使之更为密实, 其抗渗能力和承载能力均有较大提高。古代灰土地基施工方法大体上有大夯灰土、小夯灰土两种^[3]。要求不高的地基一般采用大夯灰土。灰土中白灰与黄土的配比通常为 $1:9$ 至 $3:7$, 拌好的灰土的含水率以“握紧成团, 落地散开”为宜, 夯筑的每一层(古代称一层为“一步”)厚度由虚铺 7 寸夯实至为 5 寸, 一般每步打夯三遍, 打碾两遍。要求较高的地基采用小夯灰土。灰土中白灰与黄土的配比一般为 $3:7$ 至 $4:6$, 每步由 7.5 寸夯实至 5 寸。夯筑时先将础槽底碾拍三次后再铺灰土, 每步分二次铺平后, 先采用旱夯干打四遍, 再铺席洒水湿灰, 然后交替夯筑。要求质量更高的, 还每夯一层加泼一次糯米汁, 使得灰土中的无机胶凝水化硅酸钙与有机胶结材料糯米汁实现良好的匹配复合, 固结后, 可使地基的密实性和承载力进一步增强。

除夯打地基外, 古人还发明创造了一些其它的人工地基建造技术。如换土地基, 当建筑不得已建在淤泥或杂填土上时, 古代民间有采用把软性地层挖去, 换上砂土或河砂的“换土地基”做法。《汴京遗迹志》记载有北宋东京(今河南开封)城垣的墙基采用了换土法。又如撼砂地基, 一般挖约 1m 深, $60\sim 70\text{cm}$ 宽的基槽, 然后将中砂以 $20\sim 30\text{cm}$ 为一层, 填入槽内, 随后在槽内灌水振撼, 至砂层密实为止。依次进行,

当撼至离地面约20~30 cm处,则砌砖或块石墙脚。再如筏形地基,福建泉州宋代的洛阳桥针对洛阳江入海口淤泥多的实际,利用抛扔石头挤开淤泥,形成坚实基底后,再建桥墩,创造性地应用了“筏形地基”技术,有效地避免建筑的基础被剪切破坏,减少地震波对上部建筑的冲击。

2 中国古代建筑基础

基础是埋藏于地面下承受上部结构荷载,并将荷载传递给下卧层的人工构筑物。中国古代建筑应用最为普遍的是桩基,古代桩基技术有着悠久的历史和高超的水平,它的成功运用是现代深层桩基础的启蒙。

2.1 桩基

原始社会时期,随着社会的发展和人口的增加,“依树积木,以居其上”的巢居受到水源、渔猎等条件制约。此时,古人受巢居在天然树木支撑作用启发,探索出了人工栽柱形式的干阑建筑。河姆渡遗址的基础采用了由圆木桩、方木桩和板桩组成的桩基础。这是最早的桩的雏形,在世界上也属罕见^[4]。

隋代西安灞桥镇灞桥遗址发现,石砌桥墩下,除了铺砌一层宽约17 m的石板基础外,其石板基础下还垫有一层方木,方木下以满堂木桩对桥墩地基进行处理。方木垫层在水下产生一定的浮力,同时,方木本身具有一定的弹性,能够减缓由于桥面活载冲击对桥墩地基产生的破坏。

到了宋代,桩基技术已较为成熟,桩基做法趋于标准化。宋《营造法式》中载有“临水筑基”专节。我国现存最早的木桩基础实例是建于北宋天圣年间(公元1023—1031年)的山西太原晋祠圣母殿。此殿经历了900多年,尚未发现不均匀沉降。

元代上海法华塔在地面以下1.4 m处采用满堂木桩加固塔体地基,一方面木桩横向挤压周围土层,使土粒密实,增强了地基土的强度,另一方面改变了软弱地基对塔体的破坏模式。

明清时期桩基技术更趋完善,北京天安门就采用了群桩基础。清《工程做法》对桩的选料和布置,以及桩基施工方法等方面都有了规定。在木桩选料方面,一般采用耐水耐蚀的松、柏等针叶树材,南方多选用红松,而北方亦有用柳木为桩,北京颐和园的堤岸就是用湿柳木作桩的,经几百年仍未朽。在木桩布置方面,柱础之下多用“钉五桩曰梅花桩,以其式如梅花之五瓣,或曰聚五”的梅花桩;在墙基之下常用“钉三桩曰马牙桩,其式如马齿之相错也,或曰三星桩”的马牙桩。在桩基施工方面,因地、因时和条件而异。如打梅花桩,先打中桩一根为基准,再以木板开眼,

作梅花桩式,套于中桩上,按眼插桩。

除竖向打桩基础外,古代在建桥时,也有于桥墩之下以较大规格的松木做卧桩基础(古称“睡木沉基”)的尝试,使得整座桥梁荷载传递到水下卧桩基础上。这是古人在桥梁建筑史上的非凡创造。福建永春宋代罕见的长廊屋盖梁式桥—东关桥就是一例。

古代除桩基础外,还出现了一些其它类型的基础。北京故宫中的单体建筑就有筏形基础。民间也经常采用砖基础和石基础。

2.2 柱础

柱础也称“柱顶石”,它是建筑在安装木柱时应有的平整牢固的底脚,它可进一步增强了承重柱在结构上的稳定性,同时也能减轻地下土壤中的水分对柱根部的侵蚀,具有防潮防腐之功效。

河南偃师二里头夏代宫殿遗址、河南郑州商代宫殿遗址和河南安阳殷墟等都发现有天然砾石或卵石柱础。西汉时期独立承重结构的支柱已被广泛采用,无论是独立柱、附壁柱、还是墙内柱,柱下都有圆形、方形或不规则形状的柱础石。柱础石的规格尺寸根据木柱的直径来确定,宋《营造法式》要求,“造柱础之制,其方倍柱之径。方一尺四寸以下者,每方一尺厚八寸。方三尺以上者,厚减方之半。方四尺以上者,以厚三尺为率”。清《工程做法》规定,“凡柱顶(即柱础)以柱径加倍定尺寸,……以见方尺寸折半定厚”。

为使木柱的集中荷载通过石础能较均匀地扩散到夯土地基上,并避免木柱埋地而腐朽,古人常在柱与础之间加横纹木垫板或铜质垫片(古代称之为“𦨇”或“𦨇”)。河南安阳小屯的商末宫殿遗址发现此类构造。

2.3 中国古代建筑台基

中国古代木构建筑单体,从外形上自下而上分为台基、屋身和屋顶三部分。台基是建筑物的基座,一般包括台明和埋深两部分,地面之上柱脚以下砖石包砌的可见部分称为台明,不可见的地下部分称为埋深。在古代传统建筑技术条件下,宫殿等体量较大建筑物的基础大面积连片同时夯筑,使之成为“一块玉儿”,其效果同今天的“箱形”或“片筏”基础相类似^[5]。

中国古代建筑物的台基具有特殊的功能,其主要表现在:

(1)承托荷重 台基是可理解为一个承受房屋整个荷载的“块状基础”^[6]。尤其是瓦的发明及使用,使得房屋建筑抵御风雨能力显著提高和装饰效果明显增强,但同时也带来建筑物的自重大大增加。借助于夯筑技术,利用便利的黏土夯成基,以此来加固房屋的基础,提高其承载能力,就成为一种现实的需要。到了明代,灰土作为台基材料而大量应用,使台基承载能力有较大提高。北京明代故宫三大殿的台基就是

用灰土夯筑而成的, 时至今日仍坚实现动。

(2) 避水防潮 古人初始席地而坐, “下润湿伤民”(《墨子 辞过》), 提升地面标高可避免湿润的危害。台基经夯打密实, 可有效阻止地下水的毛细蒸发作用, 克服或减缓室内地面潮湿。台基的地面之上的露明部分, 可避免地面积水对木质构件及版筑墙基的侵蚀。

(3) 标志等级 春秋战国时期, 封建的统治秩序得以确立, 宫室的“规矩制度”也已有了明确的规定, 使建筑融入了等级的概念。台基将建筑的高度抬升, 使建筑物主体给人以巍峨庄严、居高临下的感觉, 也可显示出帝王君临天下的威严。《礼记》载有“天子之堂九尺, 诸侯七尺, 大夫五尺, 士三尺”。据杨鸿勋先生考证, 被西方学者称为“黄土金字塔”的秦始皇陵, 其“九层之台”约 500 m 见方, 高达 87 m^[7]。

(4) 调适比例 适度尺寸和比例的台基, 可与屋身和屋顶形成平衡和谐的效果, 克服比例失调、头重脚轻的观感, 使坐落高大台基之上的殿堂给人以稳定庄重、形体优美的感觉。《营造法式》规定“立基之制, 其高与材五倍, 如东西广者又五分至十分。若殿堂中庭修广者量其位置随宜加高, 所加虽高不过与材六倍。”

2.4 高层建筑基础

中国古代是世界上高层建筑发展得最早的国家之一, 其高层建筑基础技术成就非凡。中国古代砖构高层建筑主要是塔, 在全国各地存在大量实物, 现存年代最早的河南登封北魏时期嵩岳寺塔, 塔高 39.5 m, 距今已有近 1500 年历史。现存最高的河北定县北宋时期的料敌塔, 高达 84 m。这些古塔的基础负载着巨大的荷载, 经历了无数次强风和地震的考验, 至今仍巍然屹立、安然无恙。我国古代对于高层建筑地基处理时, 还曾考虑到风力对基础的影响以及水文地质对地基不均匀沉陷的影响。《归日录》有北宋庆历年间建造的东京开宝寺塔(今开封铁塔)记载:“开宝寺塔在京师诸塔中最高, 而制度甚精, 都料匠预浩所造也。塔初成, 望之不正, 而势倾西北, 人怪而问之, 浩曰: 京师平地无山, 而多西北风, 吹之不百年当正也。”《皇朝类苑》也记载有:“人或问其北面稍高, 浩曰: 京城多北风, 而此数十步, 乃五丈河, 润气津侠, 经一百年则北隅微垫, 而塔正矣。”

3 结 论

(1) 中国古代建筑的地基基础有着悠久的历史和技术成就, 可为中国古代建筑的保护维修和现代建筑的设计建造提供借鉴和参考。

(2) 在地基方面, 古人掌握了夯实土层可以增加土的承载力, 能够提高建筑物的稳定性, 创造了夯

土地基, 并在地基夯打之前, 重视地质因素的影响, 注意土质特征的选择, 发明了“相土”、“验土”等科学方法。而后又创造了强度更高、耐水防潮性能优越的灰土地基和砖渣地基等多种构造形式。

(3) 在基础方面, 桩基历史悠久、技术高超, 它的成功运用是现代深层桩基础的启蒙; 柱础的应用增强了承重柱的稳定性并减轻了地下土壤中的水分对柱根部的侵蚀, 在柱与础之间使用柱础可避免木柱埋地而腐朽; 台基营建具有承托荷重、避水防潮、调适比例、标志等级等特殊功效; 高层建筑基础技术成就非凡, 不仅考虑了承载能力, 还注意到风力对基础的影响以及水文地质对地基不均匀沉陷的影响。

参考文献:

- [1] 杨国忠. 中国古代土木结构建筑的科技内涵[J]. 河南大学学报(自然科学版), 2009, 39(4): 436 - 440. (YANG Guo-zhong. The connotation of science and technology of Chinese ancient civil construction[J]. Journal of Henan University(Natural Science), 2009, 39(4): 436 - 440. (in Chinese))
- [2] 吴二军, 王建永. 中国古建筑的结构与受力性能[J]. 四川建筑科学研究, 2010, 39(4): 78 - 83. (WU Er-jun, WANG Jian-yong. The structure and mechanical properties of ancient Chinese architecture[J]. Sichuan Building Science, 2010, 39(4): 78 - 83. (in Chinese))
- [3] 邓其生. 中国古代建筑基础技术[J]. 建筑技术, 1980, 11(2): 61 - 64. (DENG Qi-sheng. Basic technology of ancient Chinese architecture[J]. Architecture Technology, 1980, 11(2): 61 - 64. (in Chinese))
- [4] 陈奕杰, 陈奕俊. 桩基础的应用与发展[J]. 山西建筑, 2005, 31(18): 113 - 114. (CHEN Yi-jie, CHEN Yi-jun. The application and development of pile foundation[J]. Shanxi Architecture, 2005, 31(18): 113 - 114. (in Chinese))
- [5] 张卓远, 樊海涛. 汉代及其以前的建筑基础[J]. 古建园林技术, 2000, 68(3): 18 - 19. (ZHANG Zhuo-yuan, FAN Hai-tao. Han Dynasty and before the building foundation [J]. Traditional Chinese Architecture and Gardens, 2000, 68(3): 18 - 19. (in Chinese))
- [6] 李允铎. 华夏意匠[M]. 天津: 天津大学出版社, 2005. (LI Yun-he. China artistic conception[M]. Tianjin: Tianjin University Press, 2005. (in Chinese))
- [7] 杨鸿勋. 建筑考古学论文集[C]// 北京: 清华大学出版社, 2008. (YANG Hong-xun. Building Archaeology Proceedings [M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2008. (in Chinese))

（本文责编 明经平）