

## 现代勘察技术在城墙保护中的应用\*

周俊玲

(西安美术学院 中国艺术与考古研究所, 陕西 西安 710065)

[摘要]现存西安城墙是在隋大兴城、唐长安城皇城的基础上扩建而形成的。城墙砖表土芯的建筑特征决定了它不会像石质建筑一样的坚固,它处于不断的消蚀状态,在风雨、人为的侵蚀下发生着细微乃至巨大的变化,裂缝、沉降、鼓胀、剥蚀等的问题在它的体内滋生蔓延着。保护者应当了解表面之下的内容,在不损害文物的前提下,利用现代技术主动了解古代城墙的内部变化规律。针对目前西安城墙存在的问题,通过科学的勘察之后,今后一段时期保护的首要任务是防水措施的改善,其次是加强现代手段的重点部位的监测,在此基础上减少或防止有害的人类活动,并有针对性地选择合适的方式进行工程治理。

[关键词]西安城墙;现代勘察技术;文物保护

[中图分类号]K872 [文献标识码]A [文章编号]1005-3115(2010)08-0152-03

### 一

现存西安城墙是在隋大兴城、唐长安城皇城的基础上扩建而成的。唐长安城规模宏大、气势磅礴,是当时世界第一大都会,但是在唐末朱温弃长安而奔洛阳的战乱中,失去了帝都的骄傲,成为一座面积空旷、衰败不堪的城池。佑国军节度使韩建为了战略防御的需要将长安城围隔成只剩下面积不到原来 1/3 的皇城范围,从而形成了一个所谓的“新城”。隋唐以后,五代、宋、元历朝只将西安作为一个军事的、行政的治所在经营。西安不再是政治的中心,也失去了往日的辉煌,但是西安城墙历代均有修缮。明朝初年,朱元璋分封他的次子朱棣为秦王,坐镇西安,镇守西北。为了迎接秦王的到来,也为了西北的防守,明洪武三年(1370),在当时长兴侯耿炳文的主持下,将“新城”的基础向东、向北扩展形成现存的西安城墙。由于对新城的西墙和南墙没有做大的改动,因此,现存的西安城墙仍留存着隋大兴城、唐长安城的余韵。

不论是隋大兴城、唐长安城,还是明初西安城墙,都是夯筑的土墙,或者只是在城门处包砌着城砖,裸露的黄土在风雨中逐渐消蚀着。明隆庆年间,陕西巡抚张祉在城墙的外侧包砌了青砖,既抵挡了火器的进攻,又抵挡了风雨的侵蚀。清乾隆年间,陕西巡抚毕沅为了以西安城墙的坚固之躯抵挡住西北地区回民起义的蔓

延,奏请朝廷拨银修缮西安城墙。在这次修缮中,毕沅首先削宽补窄,统一了城墙的高、宽;其次整修了城墙的排水系统;最后在城墙的顶上铺设了海墁,外侧包砌了青砖。毕沅的这次整修基本是我们今天看到的西安城墙的外观。近代以降,城墙在强大的现代武器的攻击下,基本失去了原有的战争防守优势,日渐淡出历史舞台,毁坏在所难免。20世纪80年代,人们又对千疮百孔的城墙进行修缮、复原……期望它身上所背负的历史能够一代一代地流传下去,历史的链条能够永续。

### 二

城墙砖表土芯的建筑特征决定了它不会像石质建筑一样坚固,它总是处于不断消蚀状态,总是在风雨、人为的侵蚀下发生着细微乃至巨大的变化。现在的城墙虽然作为一个历史的印记被细心地呵护着,但是裂缝、沉降、鼓胀、剥蚀等问题在它的体内滋生、蔓延着,人们看到的是表面的痕迹,可是不知道在青砖之下的夯土之中发生着什么,它们会引起什么样的后果。平遥城墙两次突然坍塌,让大家感到文物保护工作的艰巨性。保护者应当了解表面之下的内容,应当在不损害文物的前提下,利用现代的技术主动地了解古代城墙的内部变化规律。这就是对西安城墙进行现代技术勘察、调查的缘起。

\* 丝绸之路文化研究中心是隶属于中国城科委历史文化名城委员会的一个非营利性学术机构,致力于研究、弘扬丝路文化,提供学术交流和城市宣传平台。本文作者周俊玲为丝绸之路文化研究中心研究人员。

对于西安城墙的勘察工作是由机械工业勘察设计院来承担的,此项工作其实在20世纪90年代初就已经进行了。当时只是利用全站仪等仪器对东、西、南、北四座瓮城进行沉降、位移的观测。主要是观测墙体以及古建筑在水平、垂直方向的变化,以便掌握古城墙在自身以及外界环境中的发展变化,及时采取各种保护措施。这次是在继续原来工作的基础上,首次利用现代手段系统勘查墙体表体城砖、内部夯土的构造和变化。

虽然是利用现代的技术对城墙各类病害进行调查、勘测、分析,但是13.74公里的勘察范围决定了工作的开展首先是选择有代表性的区段来进行。对于区段的选择,首先考虑的是沉降、裂缝较为严重的区域,同时又兼顾到尽可能多的包含城墙各个时期的信息,具有较为广泛的代表性。因此最终选定南段城墙的14、16号马面作为先期工作的区段。

工作中以病害表象为线索,采用多种手段有目的、有重点地进行揭示和探查。在调查与测绘方面,首先调查城墙的整体情况,然后对重点部位的14、16号马面区段的周围环境、历史修缮、地质情况、现状等进行调查,现场测量、编录、描述、摄像等手段同时进行。在勘探与测绘方面,采用探井、探槽、钻孔和动力触探等手段揭示城墙墙体结构、地基条件、裂缝与沉陷的空间特征。在室内资料的分析和试验方面,针对城墙墙土和地基土的常规物理力学性质、压缩、湿陷、抗剪等重要性质、物质成分组成和生物等进行土工试验、物质成分与生物成分分析试验等;同时还专门对海墁铺设的城砖进行了强度的测试。14、16号马面处基本上包含了西安城墙目前所面临的几种主要的“病害”类型:海墁及墙体上的裂缝、沉降、外墙体的鼓胀、剥蚀等,针对各种不同的“病害”,工作的方法以及意图存在着差异。

#### (一) 针对海墁及墙体裂缝的勘察

海墁及墙体上的裂缝是城墙保护中经常见到的破损类型,但是,裂缝内部的走向以及波及范围是看不到的,为了掌握裂缝的表面以及内部变化,进而探讨裂缝对于城墙保护所带来的危害到底有多大,首先对海墁所在的平面建立坐标系,在此基础上每隔一定的距离控制一次裂缝的位置,测量宽度,拍摄照片。在探槽中,以水平方向和深度方向建立坐标,在此坐标系下对揭露的裂缝定位,然后沿一定的下挖距离测量裂缝的宽度并进行描述,针对探井揭露的裂缝,沿井深方向编录、描述和拍摄。在钻探中,强调观测钻遇裂缝、洞穴时的转速以及掉钻情况,及时进行记录和芯样描述,这样就从整体上掌握了表面的裂缝在海墁之下和夯土中的

延伸和发展情况,有助于区分不同的裂缝种类,在遇到裂缝时可以根据城墙周围环境以及原来维修的状况,判断裂缝产生的不同情况,采取不同的处理措施。

#### (二) 针对沉降的勘察

城墙上的不均匀沉降一般以海墁处最为明显。沉降的发生有时伴有裂缝的形成。14号马面区段是海墁沉降最为严重的区域,就是由三条裂缝围成的北侧范围。沉陷中心相对于沉陷边缘的相对沉降量不小于40毫米。

对于夯筑城墙来说,沉降的发生是由于夯筑土自身的积淀以及外因的影响,但是对于砖砌城墙,人们看不到包砖之下的沉降是砖和夯土一体沉降,还是夯筑土和砖体各自发生着不同程度的沉降。通过对沉降区域的勘察后发现,沉陷区域一般都伴有大面积的脱空现象,这在探槽中有明显的揭露,另根据现场用重锤击打海墁砖砌体层探测发现,探槽、探井以外的区域,也发现有空洞的声音,结合探槽揭示的情况推测,该沉降区域的砖砌墙体与夯筑土体之间存在不同程度的脱空现象。

#### (三) 针对夯土密实性的实验

本次勘察工作室内研究和分析的标本均来自现场勘察中取自探井、探槽、钻孔中的样品。

作为夯土组成的建筑物,密实性在土的常规物理学性质中是决定土工程地质性质的重要因素之一。当土达到最大密度或孔隙比达到最小时,土的可压缩空间就大大地减小。随之土的湿陷性和压缩性就相对地降低和减少。

由于城墙芯墙是由黄土夯筑而成,夯筑土的密实性将决定和直接影响墙体的稳定与安全,同时,夯筑土的不同的密实性和包含物也可以间接地反映夯筑土的时代。对于夯筑土密实性的分析,可以帮助了解夯筑土的年代,沉降发生的原因,以及城墙芯墙的荷载能力。

#### (四) 针对夯土湿陷性的实验

黄土的湿陷性特质决定了城墙夯筑土芯的建筑构造在遇到水的时候,可能发生形制的改变,进而引起城墙墙体的裂缝或者不均匀沉降、鼓胀等。而城墙经过了几百年的风雨沧桑,积水下渗不可避免,这也就是引起一系列病害问题的前因。针对这一问题,本次勘察在探井、探槽中采取不扰动土样对夯筑土的自重湿陷性、湿陷的起始压力以及实际压力下的湿陷系数进行了实验。

湿陷的起始压力是黄土浸水饱和开始出现湿陷时的压力,但作用力低于湿陷起始压力时,土并不发生湿陷,只有作用力达到此值时,才会出现湿陷。新时期,城

夯筑土抗剪强度试验成果统计表

区段	层号	实验方法	抗剪强度指标					
			粘聚力 c (kpa)			内摩擦角 $\Phi$ (度)		
			最大值	最小值	平均值 (单值)	最大值	最小值	平均值 (单值)
14号马面	③ <sub>1</sub>	直剪 (固快)	30.1	21.8	26.0	24.3	19.9	22.1
	③ <sub>2</sub>		40.9	19.8	29.7	27.9	22.6	24.9
	③ <sub>3</sub>	三轴压缩 (uu)			[26]			[23.6]
16号马面	③ <sub>1</sub>				[51]			[29.3]

墙的原始功用减弱,历史文化价值凸现,城墙上面会举办一些大型的活动,这就增加了城墙上承受的荷载,因此,确定湿陷起始的压力就很有意义。

由于城墙是一个用黄土夯筑而成的地上构筑物,要研究芯墙夯筑土的湿陷性是无法套用《湿陷性黄土地区建筑规范》(GB50025-2004)中的模型和公式的。因此,将双线法压缩实验测定的各种深度土样在不同等级压力下的湿陷系数,绘制成湿陷系数与压力的关系曲线来分析研究。并结合夯筑土的密实性特点,分析其湿陷性规律。掌握了夯筑土湿陷性规律,今后在举办活动、调查病害原因等方面,就可以进一步依照实际状况安排活动,组织维修等。

#### (五) 针对黄土压缩性、抗剪强度的试验

城墙芯墙夯筑土的压缩变形是产生城墙病害,从而危及城墙稳定与安全的重要因素之一。也就是夯筑土的芯墙在外力作用下发生的变化,引起包砖的变化,从而产生了沉降、裂缝、鼓胀等问题。本次勘察,采取了106件不扰动土样,在室内进行了压缩系数测定,研究夯筑土在外力作用下产生压缩变形的大小,分析夯筑土的压缩性规律。

西安城墙底宽16~18米,顶宽12~14米,高12米,从城墙脚至海墁表面高度约10米,横截面呈梯形。在毕沅统一城墙高、宽比率的时候,已经充分地考虑了墙体整体稳定性的问题,但是现在的西安城墙犹如一位迈入暮年的老人,肌体处于衰退阶段,任何过量荷载都有可能引起致命的危险。通过本次勘察可知墙体内部存在较多的裂缝,一些裂缝宽大而且相互贯通,对城墙的稳定性带来很大威胁。针对这一问题,在相应的位置采取了不扰动的夯筑土进行了直剪试验和三轴压缩试验。

#### (六) 其他方面的试验

西安城墙地基土工程距今已有600余年的历史,部分墙段地基的历史超过了1500余年。应该来说已经处于相对稳定状态之中,但是随着现代城市的建设、周围环境的变化,地基还会处于相对变化之中,因此,在

本次勘察中针对地基进行了相关的试验。例如常规物理力学性质指标统计、密实性、湿陷性、抗剪性等。

城墙的构造为夯筑土的芯墙外面包砌青砖,砖砌体的裂缝使城墙芯墙由封闭的环境系统转化为开放的系统,并且砖砌体给芯墙

带来了新的荷载。为了掌握包砌青砖对墙体的影响,又进行了城砖力学性质的测试、砖砌体形成的附加荷载的测试。

水是城墙保护工作中的最大障碍。为此测试了城墙土体中的含水率,分析了水源与土体浸水途径。

### 三

城墙虽然是结构相对简单的构筑物,但是几百年的历史使它的内部构造、相邻的外部环境都发生了很大变化。新时期,城墙基本的军事功能消失了,人文功能逐渐凸现出来,随之而来的是城墙保护工作的艰巨性。基于这样的现状,以14、16马面为基点,对城墙目前面临的主要问题进行了点上的勘察,以期以点来反映墙体内、外部的真实状况,为整个城墙的保护提供科学依据。

通过这次勘察综合分析研究,城墙病害的内因是土体的密实程度决定的湿陷性、压缩性、抗剪性,而外因主要是水浸入土体而带来的土体湿陷性、压缩性、抗剪性的变化。其次,墙体与地基中的洞穴、墙体与地基所承受的荷载的变化(重复性加、卸荷载)、海墁砖砌体的防水作用、芯墙外包砌青砖的挡土作用等,都对城墙的裂缝、沉降、鼓胀等的发生、发展有着一定的影响。

在城墙的保护工作中,应当贯彻“以防为主,防治结合”的原则,而“以防为主”的前提是要明确知道墙体上沉降、裂缝、鼓胀、剥蚀等病害发生、发展的原因,只有知其然,才能知其所以然,才能采取相应的应对措施。通过对城墙进行现代手段的勘察,深层了解墙体表层之下的运动状况,才能进一步防患于未然。针对目前西安城墙存在的问题,通过科学的勘察之后,今后一段时期保护的首要任务是防水措施的改善。其次是加强现代手段的重点部位监测,在此基础上减少或防止有害的人类活动,并有针对性地选择合适的方式进行工程治理。