

西安地铁建设中的文物保护

李团社 张建平

(中铁第一勘察设计院集团有限公司, 710043, 西安//第一作者, 教授级高级工程师)

摘要 文物保护是世界性工程难题。从西安地铁工程的审批程序、专题研究、技术方案、施工保护、运营监测等方面, 阐述了文物保护工作中的科技创新方法。实际的监测结果表明: 西安地铁2号线钟楼台基及盾构穿越段城墙门洞最大沉降满足工程及周边环境的要求; 线路开通运营后, 钟楼基座沉降稳定, 楼体木结构未见倾向性变形, 整体建筑保护状况良好。

关键词 西安地铁; 文物保护; 施工加固措施

中图分类号 TU96⁺7

DOI: 10.16037/j.1007-869x.2019.01.005

Preservation of Cultural Relics during Metro Construction in Xi'an City

LI Tuanshe, ZHANG Jianping

Abstract Preservation of cultural relics is a worldwide engineering problem. In this paper, scientific and technological innovation methods adopted in the preservation of cultural relics are elaborated according to the approval procedure, special studies, technical schemes, construction protection and operational monitoring during metro construction in Xi'an City. The site monitoring shows that the shield crossing construction of metro Line 2 under important cultural relics like the Bell Tower and Xi'an City Wall could meet the requirements of engineering and environment protection in terms of the maximum land subsidence. After the commercial operation of Line 2, the settlement of the Bell Tower foundation remains stable, no tilting deformation in the wood structure of the building is detected. In a word, the integral building protection is in good condition.

Key words Xi'an metro; preservation of cultural relics; construction reinforcement measures

Author's address China Railway First Survey & Design Institute Group Co., Ltd., 710043, Xi'an, China

西安与雅典、罗马、开罗被誉为世界四大著名古都。西安有着3 100多年的建城史和1 100多年的建都史。历史上有13个朝代在此建都, 其文物资源非常丰富。

从轨道交通线网上看, 西安地铁覆盖的重点文物较多。主要包括周丰京和镐京遗址、秦阿房宫遗址、汉长安城遗址、唐大明宫遗址等大遗址, 杜陵等大陵墓, 明城墙、大雁塔、钟楼等古建筑, 以及其他各种地下文物。西安地铁遇到的古建筑等文物保护是世界性工程难题。

西安地铁2号线是西安建设的第1条地铁。线路走行于南北大街下, 穿越城墙的南门、北门和钟楼, 与西安地铁6号线在钟楼形成十字换乘, 是国家文物总局和许多文物保护专家关注的焦点。

西安地铁1、2号线的建设针对文物保护问题, 从审批程序、专题研究、技术方案、施工保护到运营监测等方面都进行了积极的探索。

1 文物部门审批

陕西作为文物大省, 其文物资源的保护和利用一直受到各级政府的重视。因此, 西安在城市基础设施建设中, 非常注重文物保护。

文物保护法规定: 城市快速轨道交通进行设计和施工需穿越古遗址和古建筑等国家级重点文物时, 必须逐级上报, 由国家审批。可见, 西安地铁建设要通过国家文物局批准是很重要的一步。

国家文物局要求陕西省文物局对文物建筑风貌与安全等在西安地铁规划设计和施工建设中可能受到的影响做出科学观测和评估, 以确保文物安全万无一失。

西安地铁从线网、建设规划、项目工可研、施工到运营各阶段严格遵守国家文物局的要求, 做好各项文物保护专题、监督监控和保护实施方案并最终获得国家文物局的批准。

2 开展系列文物保护专项研究

针对西安地铁1、2号线建设过程中的文物保护问题, 在各级文物部门的协助下, 通过科学研究论证, 制定了完善的保护方案, 将地铁工程对文物的

影响降到最低,甚至对文物保护起到积极作用。

于 2005 年进行线网规划和建设规划工作时,西安地铁建设方联合市文物局及文物保护考古所对整个线网区域进行了详细的文物调研和普查,开展专项研究,明确文物保护原则和保护内容,对地铁线路提出规划和建设要求,从规划源头为文物保护留出足够的保护空间。

在西安地铁 2 号线建设过程中,省市文物局进行沿线文物普探。筛选出的受影响重点文物为:明城墙北门、南门和钟楼。开展“西安地铁 2 号线下穿钟楼及城墙设计施工方案”专题研究,形成《西安市城市快速轨道交通二号线通过钟楼及城墙文物保护方案》,并于 2007 年 2 月获国家文物局批复。

2008 年 3 月对钟楼进行勘察测绘,同年 12 月完成《西安钟楼本体现状勘测评估报告》,上报国家文物局并获得批复。

第二期建设规划过程中,西安地铁 6 号线再次面临下穿钟楼问题(2、6 号线换乘)。为监测 2 号线钟楼段运行振动对文物本体产生的影响,观测变形、沉降是否满足国家规定标准,2013 年 12 月再次对钟楼进行勘察测绘,同时对比 2008 年测绘成果,编制了《西安钟楼本体现状勘测评估报告》(2014 年版),与“西安地铁 6 号线过钟楼的选线方案”一并上报国家文物局。2015 年 6 月获国家文物局批复。

3 建立重要的控制标准

(1) 施工沉降控制标准。结合国内外相关资料、钟楼现状及现有沉降观测资料,考虑盾构施工

沉降速率较快因素,进行数值仿真计算。经计算,钟楼台基地表及其顶面产生的最大沉降量不超过 -5 mm ,局部倾斜率不超过沉降变形控制标准(0.000 5);盾构施工沉降在城墙范围可以采用地表最大沉降量控制标准($+5 \sim -15\text{ mm}$),局部倾斜率不超过沉降变形控制标准(0.001)。

(2) 地铁运营振动控制标准。国家文物局在文物保函[2007]99 号《关于〈西安市城市快速轨道交通二号线通过钟楼及城墙文物保护方案〉的批复》中要求:“因地铁振动引起的钟楼、城墙(地面)的垂直振动速度允许最大值建议控制在 $0.15 \sim 0.20\text{ mm/s}$ ”。

4 综合保护措施

地铁对钟楼及城墙的影响主要是施工期间的地面沉降和运营期间的振动。故可分别从施工和运营两个阶段进行文物保护。针对施工期间的地面沉降,主要从选线、工法选择和施工技术方面采取保护措施;而对于运营期间的振动,首先从选线采取措施,然后对振源和振动传播路径、介质采取工程措施。

4.1 线站位设计应尽量避免重要遗址和古建筑

西安地铁 2 号线在经过钟楼和城墙时,采取了左右线分开绕行的设计(见图 1)。南门和北门车站均设置于护城河外侧,钟楼站设在钟楼北侧。车站选址及线路选线均尽量远离钟楼基座及城墙的变形敏感区,以降低对钟楼和城墙的影响。

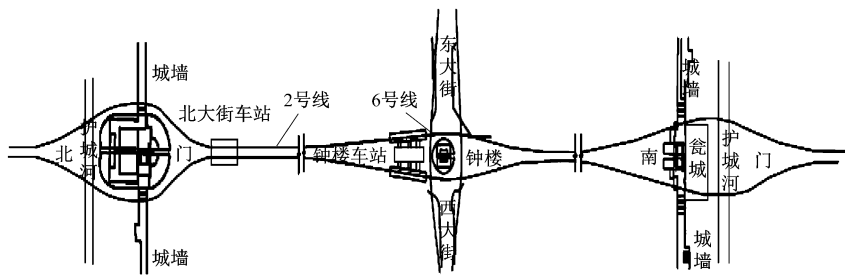


图 1 西安地铁 2 号线的分线双绕设计示意图

西安地铁 2 号线的在过南城墙段,其右线线路中心与瓮城城墙最近距离为 10.2 m ,左线为 11.8 m ;在绕钟楼段,线路右线距钟楼基座 15.4 m ,左线距之 15.7 m ;在过北城墙段,右线距瓮城城墙最近距离为 10.4 m ,左线距之 10.8 m 。

在线路纵断面设计中,应尽量加大埋深。隧道

顶埋深,过钟楼段约为 13.2 m ,过北城墙段约为 14.3 m ,过南城墙段约为 18.7 m 。较大的埋深不仅使地铁避开了地下 8 m 的“文化层”,同时还降低了线路振动对文物的影响。

4.2 施工方法和加固措施

北门站—钟楼站—南门站区间内地貌单元属

黄土梁注。场地湿陷类型为非自重湿陷性黄土地,地基湿陷等级为Ⅰ级(轻微)~Ⅱ级(中等)。埋深为8~14 m,土层厚度为0.4~11.0 m。发生黄土陷穴的可能性较低。故在本区段内,车站主体和区间结构不考虑黄土湿陷性影响。对车站出入口及通道等埋深较浅的附属设施,局部采取地基换填土处理。

钟楼站在靠近钟楼端采用暗挖施工。区间隧道选择盾构法施工。这两种施工方法对环境影响最小,沉降控制最有效。

4.2.1 对钟楼的保护和加固措施

西安钟楼(见图2)属国家重点文物保护单位。初建于明太祖洪武17年(1384年),原址在今广济街口,1582年迁于现址。西安钟楼由基座、楼身主体和攒顶组成,通高36 m。方形基座为35.5 m×35.5 m,高8.6 m,夯土外包砖墙,四面正中各有高宽各6 m的券洞。楼身为2层木结构,高27.4 m。

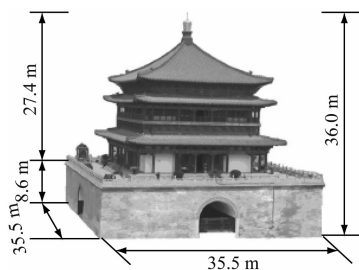


图2 西安钟楼立面图

西安钟楼保护加固采用隔离桩+化学注浆的措施。钟楼加固设计平面图见图3。

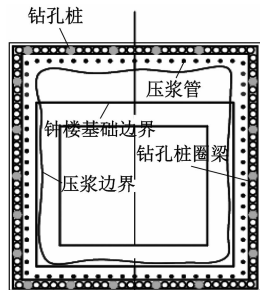


图3 西安钟楼加固设计平面图

在钟楼基座外围8 m左右设1圈隔离桩,桩径为1.0 m,间距为1.3 m。跳桩施工,并在桩顶设冠梁。

隔离桩伸入6号线隧道下2 m,桩顶设1 m(宽)×0.8 m(高)的冠梁,将所有的灌注桩连为整体,并在盾构掘进的过程中将地面沉降槽隔断。这

样灌注桩内侧的钟楼就不会受到影响。

4.2.2 对明城墙的保护和加固措施

西安明城墙属国家重点文物保护单位,建成于1378年,总长13.7 km,南北向长2.7 km,东西向长约4 km。城墙结构包括夯筑芯墙、外包砖及2 m厚夯土地基。

南门城墙高约11.6 m,底部宽16~18 m,顶部宽12~14 m;南门洞为拱券形,宽6.1 m,高8.8 m;瓮城东西长70.0 m,南北宽50.0 m,瓮城城楼高19.6 m。北门城墙高约12 m,底部宽16~18 m,顶部宽12~14 m;北门洞亦为拱券形,宽6.1 m,高8.2 m;瓮城东西长70.5 m,南北宽47.7 m,瓮城箭楼高19.6 m。

(1) 对城墙基础采用钻孔桩+袖阀管注浆的加固措施。加固措施平面图见图4。盾构施工前在城墙两侧8 m、瓮城两侧5 m的位置打设直径1 m钻孔灌注桩,间距1.3 m,桩长至盾构底下2 m。桩顶设冠梁。在盾构穿越处,桩长至盾构顶上1 m处。预先对城墙地基采用袖阀管注浆加固,在围护桩范围内打设1排袖阀管注浆,间距为0.6 m×0.6 m,梅花形布置,加固范围为地下3~11 m。注浆浆液采用水泥-水玻璃双液浆。

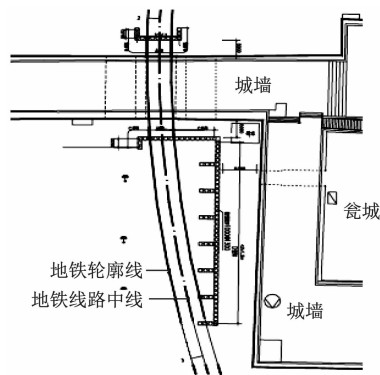


图4 线路穿越城墙处的隔离桩加固措施平面图

(2) 对城墙外部及城墙门洞采用外挂钢板网+支护的防护措施。盾构通过时采用外挂钢板网对城墙进行护壁,钢板网规格为GW3×65 mm×2 500 mm×8 000 mm,尽量密贴;沿门洞轮廓设置1圈工字钢内支护,工字钢采用22b,纵向间距为1 000 mm,沿环向每隔1 m设1道加强纵向联系。

4.3 施工期间沉降监测

盾构下穿钟楼城墙期间监测频率为3~5次/d。

左线盾构于2008年12月1日盾构刀盘进入城墙范围,2008年12月3日盾尾脱出城墙范围;右线

盾构于 2009 年 1 月 20 日盾构刀盘进入城墙范围,2009 年 1 月 22 日盾尾脱出城墙范围;2009 年 3 月 19 日钟楼站—南门站盾构成功穿越钟楼。

截至 2009 年 5 月 31 日,监测结果显示:钟楼台基最大沉降为 -1.48 mm,左线盾构穿越段城墙门洞最大沉降为 -2.79 mm,右线盾构穿越段城墙门洞最大沉降为 -6.56 mm;地表和洞内变形较小,并随着时间逐渐趋于稳定;钟楼城墙处于安全状态。

4.4 地铁运营期间的保护措施

4.4.1 采用无缝线路、钢弹簧浮置板减振道床

西安地铁 2 号线穿过城墙及钟楼等文物敏感地段时,轨道采用无缝线路,并采用减振效果最好、国际最先进的钢弹簧浮置板减振道床,以减少地铁运营期间对文物的影响。

线路钢弹簧浮置板道床设置范围:过北门城墙段为 Y(Z)CK11+410~Y(Z)CK11+700;过钟楼段为 Y(Z)CK13+300~Y(Z)CK13+530;过南门城墙段为 Y(Z)CK14+140~Y(Z)CK14+430。

4.4.2 加强运营监测

2011 年 9 月 16 日西安地铁 2 号线开始运营,2011 年 12 月—2012 年 6 月对钟楼进行了各种工况下的振动监测。2013 年 12 月—2014 年 2 月再次对钟楼进行了各种工况下的振动监测。监控的各部位振动速度幅值最大值见表 1。

表 1 各种工况下的振动速度幅值监测结果

		mm/s			
工况	监测对象	2011—2012 年		2013—2014 年	
		水平向	竖向	水平向	竖向
地铁单独运行	台基	0.040	0.028	0.028	0.034
	木结构	0.072	0.049	0.072	0.051
地铁运行+地面交通	台基	0.060	0.059	0.067	0.066
	木结构	0.131	0.070	0.152	0.077

两次测试结果均满足国家规范 GB/T 50452—2008《古建筑防工业振动技术规范》中对台基和木结构的容许振动标准的要求。

5 实施效果

2009 年 3 月,西安地铁 2 号线盾构成功穿越城墙段和钟楼段。现场监测结果显示:钟楼台基最大

沉降为 -1.48 mm;盾构穿越段城墙门洞最大沉降 -6.56 mm;地表和洞内变形较小,并随着时间逐渐趋于稳定。可见,沉降变形满足工程及周边环境的要求,确保了施工安全。

自西安地铁 2 号线于 2011 年 9 月运营后,对下穿钟楼段进行连续 6 个月的现场勘察观测。由观测结果可确认钟楼基座沉降稳定,楼体木结构变形数值很小,未见倾向性变形,整体建筑保护状况良好。

6 结语

西安地铁建设过程中攻克了“黄土、地裂缝、古建筑”三大世界性工程难题,并完美解决了“工程建设与文物保护、科技创新与历史传承”的独特矛盾。西安地铁 2 号线建设工程的文物保护工作为其他类似工程提供了参考。

参考文献

[1] 中铁第一勘察设计院集团有限公司. 西安市城市快速轨道交通二号线工程可行性研究报告(铁路北客站站—韦曲南站段)[R]. 西安:中铁第一勘察设计院集团有限公司,2006.

[2] 中铁第一勘察设计院集团有限公司. 西安市城市快速轨道交通二号线通过钟楼及城墙文物保护方案[R]. 西安:中铁第一勘察设计院集团有限公司,2006.

[3] 中铁第一勘察设计院集团有限公司. 西安地铁二号线区间隧道施工方法专题研究报告[R]. 西安:中铁第一勘察设计院集团有限公司,2007.

[4] 中铁第五勘察设计院集团有限公司. 西安地铁临潼线、五号线穿越大厚度湿陷性黄土地基处理原则与措施研究报告[R]. 西安:中铁第一勘察设计院集团有限公司,2014.

[5] 中铁第一勘察设计院集团有限公司. 西安市地铁沿线地裂缝带结构措施专题研究[R]. 西安:中铁第一勘察设计院集团有限公司,2006.

[6] 李团社. 西安地铁穿越地裂缝带线路与轨道工程方案研究[J]. 铁道工程学报,2009,26(12):81.

[7] 王鸣晓,康佐. 西安地铁建设技术攻关与安全管理[J]. 都市快轨交通,2011,24(6):33.

[8] 陕西省古建筑设计研究所. 西安钟楼本体现状勘测评估报告[R]. 西安:陕西省古建筑设计研究所,2015.

[9] 机械工业勘察设计院,中铁第一勘察设计院集团有限公司. 西安地铁二号线运行两年后钟楼振动监测报告[R]. 西安:机械工业勘察设计院,2014.

[10] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 古建筑防工业振动技术规范:GB/T 50452—2008[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2008.

(收稿日期:2018-04-02)