

# 西安地铁建设技术攻关与安全管理

王鸣晓 康 佐

(西安市地下铁道有限责任公司 西安 710016)

**摘 要** 结合西安地铁建设特色,从施工技术方面阐述文物、黄土、地裂缝三大工程难点的技术攻关成果,从建设管理角度介绍工程安全管理和当前风险控制的成功经验。

**关键词** 西安地铁 文物 黄土 地裂缝 技术攻关 安全风险

**中图分类号** U271 **文献标志码** A

**文章编号** 1672-6073(2011)06-0033-04

在西安地铁建设初期,人们就将黄土地层中的地铁修建、地裂缝处理及古建筑保护列为西安地铁建设的三大技术难题。很显然,这一说法是在广泛调查地质资料、综合分析建设环境和对比国内其他城市建设经验的基础上得出的,这3个技术问题各有特点。黄土地层中地铁的修建技术是西安地铁建设中的一个基本问题,它贯穿于沿线每个车站和区间,其复杂性在于黄土特殊的力学性质,简而言之,就是黄土在扰动和浸水前后力学性质的突变对基坑、隧道所造成的不利影响;地裂缝的处理问题是西安地铁建设中的一个难点问题,其复杂性在于地裂缝的活动性,关键在于寻找一种能够主动适应地裂缝变形的合理衬砌结构形式和有效防水措施;古建筑的保护是西安地铁建设中的一个重点问题,其复杂性在于如何有效控制地层变形,保证古建筑的安全。基本问题体现在西安地铁均修建在黄土层中,难点问题体现在地裂缝处理技术颇具挑战性,重点问题体现在确保文物安全的强制性上。

截至2010年底,西安地铁建设已稳步推进了4年的时间,以上3个技术问题得到了充分暴露和初步解决。其中,较为系统地总结了黄土地区地铁建设的应对措施,初步提出了适应地裂缝变形的衬砌结构形式

和防水措施,安全有效地穿越了古城墙、护城河、钟楼等重要古建筑。

## 1 西安地铁建设情况

2006年9月,国务院正式批准了《西安市城市快速轨道交通建设规划(2006—2015年)》,确定在近期10年内建设线网中的十字骨架1、2号线,总长50.2 km。2010年元月27日,西安市《城市快速轨道交通建设规划调整方案》得到了国家发改委正式批复,将增加建设地铁3号线一期工程和1号线二期工程,新增线路长度42.6 km。地铁1号线二期工程计划于2013年开工建设,2016年建成通车试运营。地铁3号线一期工程计划于2011年开工建设,2015年底通车试运营。

地铁2号线北客站至会展中心段于2007年8月全线开工,17座车站主体结构完工,全线隧道贯通,2011年上半年开始设备综合联调,6月份通车试运行,已于国庆节前通车试运营。地铁1号线汉城路至纺织城段2009年初开工,计划于2011年底隧道贯通,2013年建成通车。

## 2 地铁建设与文物保护协调发展问题

### 2.1 西安市文物概况

西安市区文物古迹的分布可谓星罗棋布,从城市快速轨道交通线网规划看,线网覆盖区域的重点文物分布较多,而且种类齐全,包含了大遗址、大陵墓、古建筑和各种地下文物等。其中,大遗址有西周丰京和镐京遗址、秦阿房宫遗址、汉长安遗址、唐大明宫遗址、明清西安城墙,大陵墓有杜陵,古建筑有大雁塔、钟楼等。

### 2.2 重点文物保护的具体措施

西安地铁除在线网规划时尽量避让重点文物保护单位及遗址外,在建设规划、可研报告和初步设计上报审批阶段,都按程序编报了文物保护专题报告,均根据审批意见来指导施工图设计和施工。在2007年地铁2号线建设前期,《古建筑防工业振动技术规范》尚未发

收稿日期:2010-11-29 修回日期:2011-03-18

作者简介:王鸣晓,男,大学本科,副总工程师,从事地铁工程建设管理工作

布,在省市文物局指导下,以国家文物总局批复意见为依据,组织设计、科研、文保、施工单位联合攻关,先后完成了多项专题研究报告,确定了施工和运营的控制标准。

施工沉降控制标准为:钟楼基座地表及其顶面产生的最大沉降量不超过 $-5\text{ mm}$ ,局部倾斜不超过 $0.0005$ 的沉降变形;盾构施工沉降在城墙范围可以采用地表最大沉降量为 $+5\sim-15\text{ mm}$ ,局部倾斜不超过 $0.001$ 的沉降变形。地铁运营振动控制标准为: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 $0.15\sim0.20\text{ mm/s}$ 。

根据上述控制标准的要求,设计、施工时从工法选择和施工技术方面采取如下措施:

1) 线路平面布设时从钟楼及南北门两侧绕行,设计上尽量远离钟楼基座及城墙的变形敏感区。

2) 线路纵向布设时加大埋深,尽可能降低振动对文物的影响。

3) 将钟楼车站布置在钟楼以北,靠近钟楼端最近距离约为 $185\text{ m}$ ,从站位布局上尽可能减少施工对钟楼的影响。

4) 采取先进的盾构施工工法,尽可能地控制和减少施工期沉降及振动影响。

5) 沿钟楼基座四周及南北城门相应部位打隔离桩,控制施工过程及工后沉降,阻隔减弱振动传递,以降低运营期振动影响。

6) 采用先进的钢弹簧浮置板道床,以减少运营期间的振动对钟楼及城墙的影响。

经过工程实践,前期专题研究报告提出的文物沉降指标符合工程实际,施工保护方案采取的保护措施合理有效,经监测,施工质量能够满足设计要求。2号线钟楼左线最大沉降量为 $1.4\text{ mm}$ 、右线最大沉降量为 $0.21\text{ mm}$ ,均低于沉降指标( $5\text{ mm}$ )。南门区段左线最大沉降量为 $2.27\text{ mm}$ 、右线最大沉降量为 $3.09\text{ mm}$ ;北门区段左线最大沉降量为 $4.3\text{ mm}$ 、右线最大沉降量为 $7.5\text{ mm}$ ,均在沉降指标 $+5\sim-15\text{ mm}$ 范围。从目前土建实施情况来看,与研究结论基本相符,钟楼和南北门安全完好,地铁建设顺利推进,其运营影响情况待后续实际验证。

地铁1、2号线的建设针对文物保护问题,从审批程序、专题研究到技术方案等方面都进行积极地探索和尝试,为后续线路的建设积累了一定的经验。建设过程中通过科学的研究论证,在与文物部门的协作下,制定完善的保护方案,将地铁工程对文物的影响减少

到最小,甚至对文物的保护起到积极的作用。

### 3 地裂缝问题

#### 3.1 西安地裂缝分布及其特征

西安地裂缝是一种地区性的地质灾害现象,是一种在空间上具有三维变形特征的地表线状裂缝,包括已出露地表的地裂缝和未在地表出露的隐伏地裂缝。西安市区共发现有14条地裂缝。西安地铁2号线穿越了11条地裂缝和2条次级裂缝,1号线穿越了5条地裂缝。

#### 3.2 地裂缝的成因、危害及对地铁工程的影响

西安地裂缝发育有其独特的地质背景,其成因是以隐伏断裂构造的发育为基础,受渭河盆地区域主应力场控制。其次,20世纪70~90年代中期,由于长期过量开采深层承压水,使承压水水头下降,加剧了地裂缝的发展。也就是说,西安地裂缝是构造作用和抽取深层地下水共同作用的结果。

自20世纪70年代后期以来,由于自然和人为等因素的作用,西安市区先后出现14条地裂缝,其活动时间之长、规模之大、危害之强,在国内尚属罕见。地裂缝对工程建筑造成的危害主要是,由于地裂缝的活动使建筑物基底产生不均匀沉降,致使地基失效,从而造成建筑物的变形或破坏。地裂缝所到之处,致使不少地面建筑物和地下设施遭到破坏,迄今为止已造成数亿元的直接经济损失。

地裂缝的活动对地铁产生较大影响。由于地裂缝处两侧上、下盘地层相互错动,引起地铁隧道结构跟随地层变形,造成结构开裂或压曲破坏;变形缝防渗设施遭到破坏,引起地铁隧道的渗漏水,影响列车运行;导致列车轨道产生不均匀沉降变形,影响运行安全。

#### 3.3 地铁线路通过地裂缝段的处理措施

对于地铁线路通过地裂缝段采取的处理原则是:“防”与“放”相结合,以结构适应地裂缝的变形为主,采取局部加强、预留净空、分段处理、柔性接头、先结构后防水的综合防治措施。

1) 首先,地铁车站等重要节点应采取避让的原则,区间尽可能采用正交或大角度通过地裂缝。

2) 在地裂缝处理段扩大结构断面、预留净空。根据预测的地裂缝百年变形量预留必要的变形空间,预留净空 $500\text{ mm}$ ,以便在地铁使用期内地裂缝错动后仍能通过线路调坡来保证行车安全。

3) 在地裂缝影响段必须对分段结构进行设计,采

用柔性接头进行处理,预留变形缝以适应地裂缝的变形。取地裂缝地段 65 m 为设防长度,分段来设置特殊变形缝,释放错动产生的变形;预埋可多次注浆的注浆管,预备紧急情况时进行应急堵漏处理。

4) 采取特殊的防水措施。对地裂缝段变形缝的防水,采取特殊的处理方式使其在达到最大变形量时也能够起到防水作用。

5) 采用可调节道床。对于地裂缝段轨道结构设计方案,为了使轨道能满足地裂缝变形调整的要求,采用可调式框架板轨道。

6) 在施工和运营期间,加强地裂缝段的变形监控量测。

对地裂缝的探索研究是一个长期的过程,地铁工程的建设对西安地区地裂缝的认识和研究起到了极大的推动作用。随着地铁建设的推进,逐步开展施工、运营过程中地裂缝段的监控量测,并对可能引起的沉降进行更深的研究探索,做到前期方案预防,中间手段预防,后期监测预防,以确保地铁通过地裂缝段设计、施工、运营的长期安全。

## 4 黄土地质条件下的地铁建设

### 4.1 黄土工程地质特点

西安位于典型的黄土地貌区,广泛分布有厚度大、湿陷性强、危害大的新黄土。黄土的湿陷性是指黄土在一定压力条件下,土体受水浸湿后,结构迅速遭到破坏而产生显著附加下沉的性质。黄土场地的湿陷类型分为自重型湿陷场地和非自重型湿陷场地。以兴庆公园为中心分布有约 10 km<sup>2</sup> 的饱和软黄土,此类土工程性质类似于华东或南方地区的软土,强度低、变形能力强。

### 4.2 黄土地区地铁建设应对措施

西安地铁公司就黄土地区浅埋暗挖隧道、降水试验等专题开展研究,确立了加大埋深避让、提前降水固土、地基处理治理、管线风险排查等设计施工措施。积极开展湿陷性黄土地区地铁区间盾构和暗挖隧道修筑关键技术的研究工作,通过研究以及地铁工程的实践,基本解决了黄土地质条件下盾构快速掘进、饱和黄土下暗挖施工安全、湿陷性黄土地基处理、黄土地区复杂环境降水措施等诸多技术问题,为黄土地质条件下修建地铁奠定了一定基础。在饱和软黄土区通过强化止水降水措施、加固围岩和减缓施工速度的方法,安全有效地通过了若干个风险点。

1) 为确保在黄土和全断面砂层地质条件下盾构

机的顺利掘进,从盾构机的选型、设计及适应性、盾构施工中的渣土改良、掘进过程中参数的设定、强化监控量测等方面着手,采用必要而合理的措施。

2) 针对饱和黄土地质条件的暗挖施工,在有条件的情况下尽量采用盾构法施工,以有效降低由于降水引起的饱和软黄土的失水压缩。在采用浅埋暗挖法施工的地段,应采用分级降水,同时加强对周边环境的监测,若降水造成的沉降较大时,设置回灌措施。对于周边无条件实施降水的工点,应考虑注浆止水,其中以二重管无收缩双液注浆工艺(WSS)取得的收效最为明显,可确保暗挖工程在无水条件下实施。对于地铁车站和竖井,应加强基坑止水措施,可采用止水帷幕,减少降水对帷幕外地下水的扰动。采用坑内降水,必要时进行回灌。降水宜分阶段进行,确定周边建筑物沉降稳定后方可开始下一阶段降水。工程建设速度不宜过快。

3) 针对湿陷性黄土地基处理技术,在线路纵断面设计中尽可能加大埋深避让不利地层,对于附属结构采取桩基穿越、灰土换填技术;对于车辆段等远离城市中心区域,采取强夯和灰土挤密桩等措施。

4) 针对黄土地区复杂环境降水工程,根据以往 2 号线的土建工程经验,10 m 降深范围内古土壤和老黄土地层中的水系疏干时间和效果较为明显,工程提前半月降水即可达到开挖条件;对于降深大于 10 m 的古土壤和老黄土地层,降水时效要加大,但基本能达到施工条件,局部遇夹砂地层,采取辅助双液钢花管注浆也能达到开挖条件,上述地层降水对地表影响很小;对于饱和软黄土地层,降水对地表沉降有影响,但在远离建筑物 10 m 范围外的建筑物,降水可以实施,但对 10 m 范围内的建筑,隧道施工需降水并结合洞内 WSS 注浆方可达到开挖条件。

## 5 工程安全管理

西安地铁自开工建设以来,西安地铁人始终高度重视安全质量管理工作,将安全质量作为西安地铁“三个确保”目标之一,想了很多办法,做了大量工作,确保了地铁建设安全质量工作始终平稳可控,2 号线开工 4 年来没有发生过重大安全质量事故。总体来说,西安地铁安全质量管理工作具有以下几个显著特点:

1) 实行了安全生产责任问责制,安全质量与工程招标挂钩。在全国地铁行业首家出台了安全生产责任问责制,一年内发生两起以上同类一般安全生产责任事故并造成较大社会影响的施工、监理单位,将直接清退出西安地铁建设市场;对发生人员伤亡或造成一定

经济损失和社会影响的施工、监理单位,取消其1~2年投标资格。

2) 健全完善了各项管理制度,提升了安全质量管理水平。先后制定了84项管理制度,其中工程技术、安全质量管理、风险控制及应急救援制度29项,并且全部经过专家评审,有效提升了安全质量管理水平。

3) 开展了10多项专题研究,解决了大量施工技术 & 安全质量问题。针对西安地质特点,先后联合8家科研院所,投入1200多万元,开展了14项地铁工程技术和课题攻关,解决了施工中的许多难点问题,提高了工效,缩短了工期,确保了施工安全。

4) 强化了安全保证金管理,生产过程得到有效控制。将安全保证金与各施工、监理单位安全生产情况 & 安全措施挂钩,按季考核,奖优罚劣,使安全生产管理从事后处罚向事前预防和过程管理转变,消除了事故隐患,降低了小事故的发生频率。

5) 通过教育培训和实践锻炼,培养了一支技术过硬的安全质量管理队伍。目前,公司拥有3名国家注册安全工程师和55名中、高级工程技术人员,占一线人员总数的76%,安全质量管理人员的整体素质较高。

6) 设立了安全质量监督处,强化了安全质量监督职能。明确了安全质量监督处与工程处、设备处在安全质量管理工作上的职责分工,夯实了安全责任。

## 6 风险控制

在设计阶段和施工准备阶段,积极开展西安地铁土建工程安全风险评估与管理项目的研究工作,对西安地铁1号线进行风险评估,提出风险规避建议,将风险控制在源头,为建设管理方实现“分级管理、重点监控”提供依据。此外,进一步健全地铁安全风险管理制度,规范与加强对各参建方的监督管理,实现安全风险管理的系统化、科学化,并建立长效机制,持续提高西安地铁工程建设安全风险管理的水平。不断积累监测数据和风险管理资料,总结出西安地铁施工对环境影响的相关参数,探索安全风险管理机制,为今后地铁工程的设计、施工和建设管理提供科学指导。

## 7 结语

本文主要是根据西安城市特点和特殊的工程地质环境,针对西安地铁建设工程中三大难题,从工程安全管理和风险控制方面,进行了初步的总结与探索。今后,将结合西安地铁后续线路的建设,做进一步的深入研究。

## 参考文献

[1] 西安市地下铁道有限责任公司. 西安钟楼本体现状勘测评估报告[R]. 西安,2008.

[2] 西安市地下铁道有限责任公司. 西安地铁二号线盾构施工沉降与运行振动对钟楼影响安全评估报告[R]. 西安,2008.

[3] 西安市地下铁道有限责任公司. 西安城墙南门、北门地铁二号线穿越区段安全评估及西安地铁二号线施工沉降与运行振动对城墙影响研究成果报告[R]. 西安,2008.

[4] 西安地下铁道有限责任公司. 西安地铁土建工程安全风险评估报告[R]. 西安,2008.

(编辑:郝京红)

# Technical Breakthroughs and Safety Management in Xi'an Subway Construction

Wang Mingxiao Kang Zuo

(Xi'an Subway Co., Ltd., Xi'an 710016)

**Abstract:** From the technical aspects and considering the features of subway construction in Xi'an, this paper describes technical breakthroughs in three project difficulties including cultural relics, loess and ground fissures. From the construction management perspective, the author introduces successful experience in terms of project safety management and current risk control.

**Key words:** Xi'an subway; cultural relics; loess; ground fissure; technical breakthrough; safety risk management

## 乌鲁木齐拟2020年前建成两条地铁

10月14日,《乌鲁木齐城市轨道交通建设规划》正式上报国家发改委并被受理,目前已进入建设规划的审批程序。待国家发改委批复后,乌鲁木齐市将进行轨道交通(地铁)试验段的建设。

乌鲁木齐轨道交通远景线网共由7条放射形线路组成,全长211.9 km,是按照整个地理形态和老百姓出行交通流的状况来布设的,主要解决长期以来南北向交通的供需矛盾。近期规划建设的是1号线和2号线,总长48 km,工程计划总投资约312亿元,到2020年建成。1号线计划在2016年建成,2017年投入试运行,预计在2016年下半年开始启动2号线工程。

摘编自 www.chinametro.net 2011-10-20