

文章编号: 1000-7598-(2007) 07-1477-06

地铁施工对邻近建筑物安全风险管理的

骆建军, 张顶立, 王梦恕, 张成平

(北京交通大学 隧道及地下工程试验研究中心, 北京 100044)

摘 要: 随着城市现代化进程的加速, 对交通设施建设的需求在不断的增加。由于城市所处的特殊环境, 地铁在城市交通中占有很重要的位置, 且发展迅速。地铁施工对邻近建筑物的影响已成为地铁工程中的重点和难点。因此, 在施工过程中必须采取可靠措施, 并且根据建筑物的沉降及倾斜控制标准, 对地铁施工过程进行有效的管理, 严格控制地表沉降, 才不会影响邻近建筑物的安全使用。针对地铁施工对邻近建筑物的安全影响, 提出安全管理的程序、方法和内容以及建筑物的一般保护措施, 可用于指导该类工程的施工和管理, 保证该类工程的顺利进行。

关 键 词: 地铁施工; 沉降; 监控量测; 建筑物; 控制标准; 风险管理

中图分类号: U 452

文献标识码: A

Security risk management of neighboring buildings during metro construction

LUO Jian-jun, ZHANG Ding-li, WANG Meng-shu, ZHANG Cheng-ping

(Quality Supervision and Test Center for Tunnel Engineering, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China)

Abstract: Along with the acceleration of the city modernization course, it is demanded to increase means of transportation construction. It is very important and its prompt development for the metro to city traffic because of the special condition of city. The influence of metro construction on neighboring buildings is becoming the emphasis and the difficulty in metro engineering. So it must adopt credible measures according to the subsidence and tilt control criterion of buildings in the course of metro construction to supervise effectively metro construction and to strictly control ground settlement and to ensure the security of buildings. This paper aims at the influence of metro construction on various buildings, putting forward the procedure, means and contents of construction and management, and the normal protection measures of buildings. It can instruct the construction of similar engineering and ensure the engineering to go on wheels.

Key words: metro construction; subsidence; monitoring and measuring; buildings; control criteria, risk management

1 前 言

21 世纪初是城市地下铁道、各种隧道工程以及地下空间工程大发展的重要时期。为解决城市交通、停车、贸易、通讯、供水以及供电等工程项目占地的重大难题, 人们将大力开发利用地下空间^[1]。随着城市建设的发展, 在市区修筑地下工程, 尤其是在地面建筑密集、地下管线复杂的城市中心地区, 地铁施工引起的地面沉降将有可能危及周围建筑物的安全。因此, 必须对地铁施工进行安全管理。在施工前必须清楚地掌握工程沿线建筑物的构造、型式、年代、使用状况等情况, 对工前建筑物进行评

估, 确定建筑物的已有的变形以及抵抗剩余变形的能力。其次在施工过程中进行监控量测, 并根据评价指标进行判断, 对建筑物进行评估。这样可以对城市地下工程施工对建筑物影响的问题, 做出比较合理的技术决策和现场应变措施。最后对建筑物工后进行评估。

目前国内外在对地铁施工对建筑物的影响评估时有不少文献资料^[2, 3], 国内文献^[4-6]对地铁施工对建筑物的影响以及对建筑物采取的保护措施进行了描述, 都是以个案的形式出现, 并没有系统地介绍怎么进行建筑物的安全风险评估, 并且对于建筑物在地铁施工过程中到底还能承受多大的剩余变形

(即建筑物的现状评估),基本上都没有涉及到。因此,本文针对上述几点,从地铁施工对建筑物产生影响以及管理方面提出建筑物的安全风险评步骤,以便对其他类似工程提供参考和借鉴。

2 建筑物施工安全风险评估

在地铁施工过程中,由于地层的扰动,必然会对地铁结构周围的建筑物产生一定程度的影响。为了确保地铁施工期间建筑物的安全使用,必须对建筑物的现状进行调查和评估,预测地铁施工对建筑物产生的影响范围和程度,及时采取相应得处理措施,才能使地铁施工在保证建筑物正常运营的前提下得以安全有序地进行。为此,应开展以下 5 个方面的工作:①建筑物资料的调查;②建筑物现状评估;③地铁施工对邻近地层和建筑物的影响与预测;④地铁施工沉降控制标准的制定;⑤地铁施工过程管理和控制程序的制定,其总的流程图见图 1。

2.1 建筑物资料调查

资料调查的目的是确切地掌握建筑物的实际数据及其与地铁结构之间的空间位置关系。资料的调查包括如下方面。

2.1.1 与建筑物相关资料的调查

与建筑物相关的调查资料主要包括:原设计图和竣工图、工程地质报告(对于以前没有或缺少的资料,必要时须进行补勘)、历次加固和改造设计图、事故处理报告、竣工验收文件和检查观测记录;原始施工情况(原始施工资料);建筑物的使用条件;根据已有的资料与实物进行初步核对、检查和分析。

2.1.2 与地铁结构相关的资料的调查

与地铁结构相关的资料调查主要包括:平面布置图;施工区地质资料图;设计资料,包括车站的纵横断面形式与尺寸等;与建筑物的位置关系图;结构材料性能和几何参数的检测和分析,结构构件的计算分析、现场实测,必要时进行结构检验。

2.2 建筑物现状评估

为了解地铁施工前建筑物的当前工作状态,并为地铁施工过程中地面沉降(倾斜)控制标准和施工技术方案的制定提供依据,应对工程影响范围内的建筑物进行现状评估。评估的目的在于:①准确判断建筑物的危险程度,及时对建筑物进行治理和加固,确保使用安全;②通过检测及分析,评估建筑物当前的工作状态和抵抗附加变形的能力;③为制定建筑物附加变形(如沉降、差异沉降、水平位移以及倾斜等)的极限控制值提供依据。

2.2.1 评估范围

根据地铁施工的影响范围以及建筑物在地铁施工过程中可能遭受的破坏,确定被评估的建筑物,对于区间隧道,原则上为隧道中线左右各 30 m 范围内的建筑物;对于车站,车站中线左右各 50 m 范围内的建筑物均应进行评估。对于每一幢建筑物,应根据建筑物与地铁结构的位置关系,建筑物的性质、基础形式、建筑物的重要性等各个方面,进行综合判断,确定该建筑物是否应进行安全现状的评估。

2.2.2 评估内容

(1) 建筑物安全性的评估

建筑物安全性评估内容包括 4 部分:地基基础、上部结构承载力的验算及评估;结构变形;裂缝;构造与连接。根据建筑物安全性鉴定的相关规范、规程判断建筑物的现有安全等级。

(2) 建筑物沉降的控制值

根据建筑物的工前沉降(或差异沉降),验算建筑物结构的承载能力以及剩余承载能力,最后确定建筑物的剩余变形能力(沉降或差异沉降)。对于特殊性质的建筑物,如独立柱基的木结构建筑物,除了要确定每个柱基的沉降控制值外,还应确定其相邻柱基之间的水平位移(或相对水平位移)的控制值。

2.2.3 评估方法

(1) 基础既有沉降的估算

推算基础工前沉降(或差异沉降),采用《建筑地基基础设计规范》(GBJ 7-89),并配合基础的测量方法,对建筑物进行倾斜测量,推算建筑物的工前差异沉降;

(2) 建筑物既有承载力的估算

根据结构基础的沉降(或差异沉降)值及木结构建筑物分别进行简化计算。

① 一般建筑物结构简化计算模型

对一般建筑物的破坏进行了评估可以采用简化的方法,将建筑物简化成为在集中荷载力作用下的理想的跨度为 L ,高度为 H 的梁的变形,这也是目前最为广泛使用的一种评估方法,具体可参考文献[2]。

② 木结构建筑物简化计算模型

木结构建筑物结构荷载的计算不同于前面的一般建筑物计算,它应借助于现有的一些结构分析软件进行计算。在建立柱基础的沉降量、水平位移量与结构受力变形之间的关系时,也应当对木结构建筑物进行简化,具体可参考文献[3]。

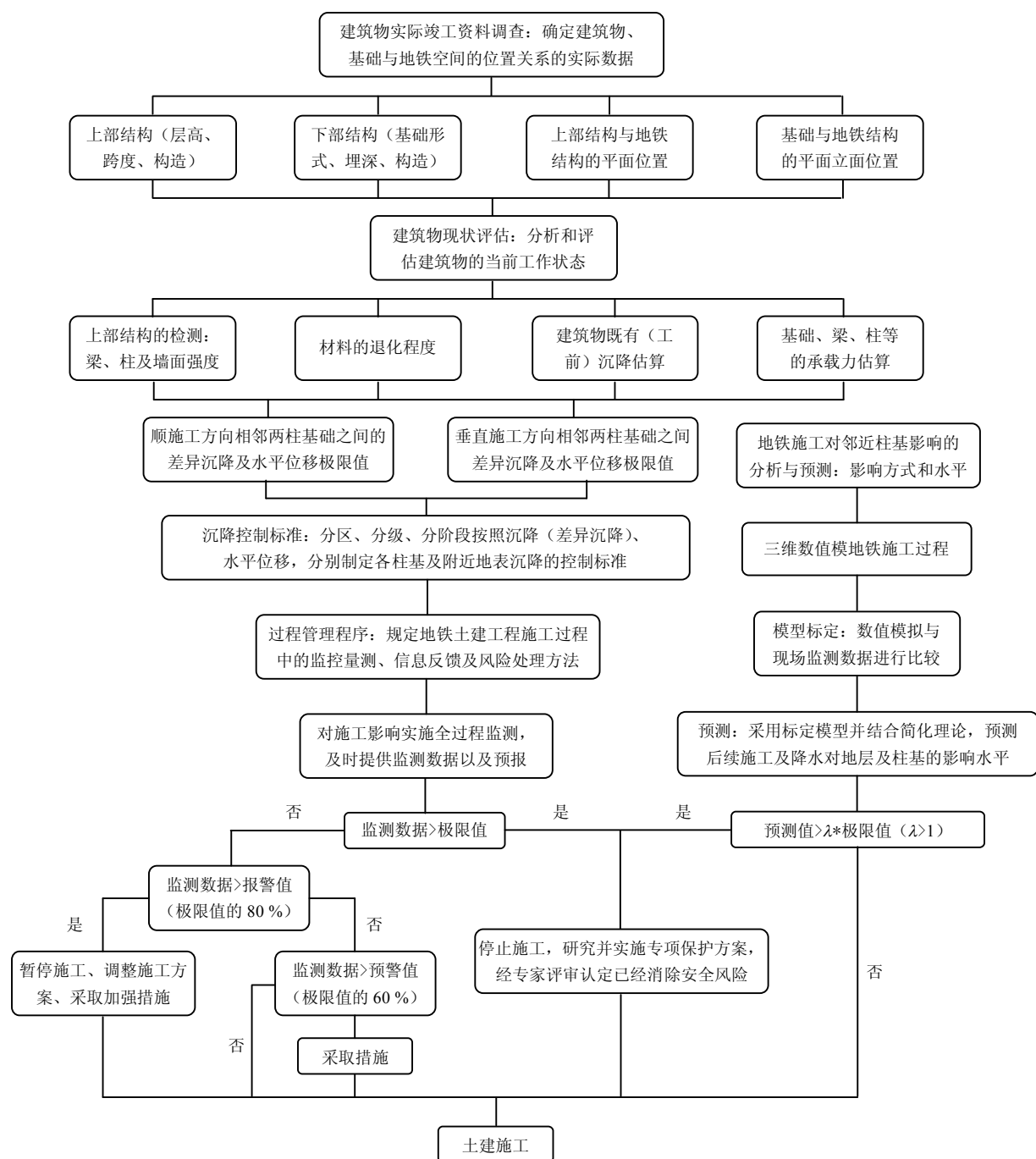


图 1 地铁施工安全风险管理工作流程图

Fig.1 Flow chart of security risk management on metro construction

根据对建筑物上部结构承载力的分析, 评估结构的抗变形能力。在结构检测、材料退化评估、基础工前沉降和承载力估算、上部结构承载和变形的基础上, 制定地铁施工前剩余沉降(差异沉降)的建议值, 同时还应确定其相邻柱基之间的水平位移(或相对水平位移)的控制值。

2.3 地铁施工地表沉降（水平位移）预测

2.3.1 施工降水的影响

根据地质勘察资料, 在施工降水时, 应考虑到

当前最不利的水位降深位置；同时应考虑采用哪种降水方案会产生较小的地面沉降；估计因降水导致地层有效应力增加而带来的最不利的地层沉降值。对于因施工降水造成的沉降值可以参考文献[1]。

如果地铁结构邻近有风险很大的建筑物，并且降水可能会对建筑物产生较大的影响时，应进行专项降水方案的设计。

2.3.2 暗挖施工过程的影响

采用三维数值模型,模拟在某一施工工法下的

施工过程,分析对邻近地层和建筑物柱基的影响方式;利用已有的实测数据“标定”数值模型(确定模型计算参数);然后利用“标定”的数值模型预测后续施工工序对建筑物沉降的影响水平。

2.4 制定地表沉降控制标准

对于地表沉降的控制标准,目前国内还没有一个完全的统一标准,但无论是设计单位、还是施工单位,都有一个不成文的规定,即在浅埋暗挖地铁施工过程中,地表沉降值控制在 30 mm 以内。实际上,通过我们对北京地铁 5 号线 12 个浅埋暗挖区间、7 个浅埋暗挖车站的地表沉降值的统计分析,地表沉降值远远大于 30 mm(如北京地铁 5 号线蒲黄榆车站,多数地表测点沉降值超过 200 mm),但周围建筑物均未出现危险。因此对于地表沉降控制标准的问题,应根据地铁施工范围内的环境进行分析。

隧道开挖完全要求建筑物不出现沉降、变形和裂缝等几乎是不可能的,只是其大小而已。问题的关键在于如何将其控制在容许范围之内。对此,有关设计规范做出了具体的规定^[7]。由于地基不均匀等因素产生的变形,对于砌体承重结构应有局部倾斜控制,砌体承重结构沿纵墙 6~10 m 内基础两点的沉降差与其距离的比值:对中、低压缩性土为 0.002,对高压缩性土为 0.003;对于框架结构和单层排架结构应有相邻柱基的沉降差控制,单层排架结构(柱距为 6 m)柱基的沉降量为 200 mm,框架结构对中、低压缩性土的沉降差为 0.002 L ,对高压缩性土的沉降差为 0.003 L (L 为相邻柱基的中心距离);对于多层或高层建筑或高耸结构应有倾斜值控制,见表 1 和表 2;必要时还应控制平均沉降量,对于体型简单的高层建筑基础的平均沉降量的限制为 200 mm。

表 1 多层和高层建筑的整体倾斜允许值(mm)^[7]

Table 1 Allowable values of integral tilt for multiple-story and tall building(mm)^[7]

建筑物高/m	$H \leq 24$	$24 < H \leq 60$	$60 < H \leq 100$	$H > 100$
允许倾斜值	0.004	0.003	0.002 5	0.002

表 2 高耸结构基础的倾斜允许值(mm)^[7]

Table 2 Allowable values of the foundation for towering architecture(mm)^[7]

建筑物高/m	$H \leq 20$	$20 < H \leq 50$	$50 < H \leq 100$	$100 < H \leq 150$	$150 < H \leq 200$	$200 < H \leq 250$
允许倾斜值	0.008	0.006	0.005	0.004	0.003	0.002

2.4.1 制定沉降控制标准的依据

(1) 国家、部委、地方政府部门所颁发的有关

技术标准、规范、规程;

(2) 各区间、车站的设计、施工资料(含变更设计、施工资料);

(3) 房屋安全鉴定部门对于建筑物外观检测及结构初评的鉴定报告;

(4) 地铁施工对邻近建筑物影响的数值计算及分析预测报告;

(5) 国内外类似工程情况下施工经验的参照和借鉴;

(6) 其他相关规范、规程及文件。

2.4.2 制定沉降控制标准的原则

对于同一幢建筑物,由于其结构的各个部分相对于地铁结构的空间位置来说时不同的,在制定地面沉降控制标准时,可根据结构的不同部位的要求分别制定地面沉降控制标准,而对于建筑物结构的不同部位,不必按照统一的沉降控制标准来控制。因此可按照分区、分级、分阶段制定沉降(或差异沉降或水平位移)的控制标准。

分区:是指依据建筑物上部结构的不同形式,采用不同的控制指标;

分级:根据建筑物的危险程度将建筑物保护等级统一划分为不同的保护等级;

分阶段:是指将建筑物暗挖法施工过程划分为几个主要的施工阶段,对于每个阶段,提出阶段控制指标。

对分区、分级、分阶段的详细说明应根据建筑物的具体的性质,基础形式、建筑物的位置等进行综合分析。

2.4.3 建议控制标准

根据以上分析,建议按四个方面制定控制标准:

(1) 沉降(如建筑物为桩基础和木结构,则应包括单桩(柱)的沉降);

(2) 沉降速率(如建筑物为桩基础和木结构,则应包括单桩(柱)的沉降);

(3) 垂直施工方向相邻基础之间的差异沉降;

(4) 顺地铁施工向相邻基础之间的差异沉降。

3 建筑物风险控制措施

3.1 施工过程监测

监控量测是地下工程信息化设计、施工必不可少的手段。由于地铁施工,必然会对其周围影响范围内的建筑物产生影响,导致建筑物出现裂缝、倾斜、甚至倒塌。因此,应将建筑物的监控量测作为一个重要的工序纳入到建筑物的风险评估中。

在地铁施工过程中,必须对土建施工影响实施

全过程进行监测、及时提供监测信息和预报,以便评估地铁施工对建筑物的影响程度,预报可能发生的安全隐患。在监测过程中,对各监测项目的监测值可采用预警值、报警值、极限值三个等级进行控制:

(1) 预警值是在保证建筑物不产生破坏的前提下所能达到的最大差异沉降值,上述每一指标的预警值取为极限值的60%;

(2) 报警值是指当沉降过大或过快接近控制值时,采取必要措施和手段进行预防,上述每一指标的报警值取为极限值的80%;

(3) 极限值是指施工过程中所能到达的最大的沉降(或差异沉降、水平位移)控制值,超过这个值,建筑物结构发生破坏。在上述每一指标中的任意一个到达或接近极限值时,应立即停止施工,报专家组进行论证分析,确定具体措施;

(4) 当上述每一指标小于预警值时,施工可顺利进行;

(5) 当上述每一指标中的任意一个超过预警值时,应及时制定和采取必要措施减小沉降(或差异沉降);

(6) 当上述每一指标中的任意一个超过报警值时,应及时组织专家组进行论证分析,并采取相应防护措施进行防护,确保建筑物结构安全。

如果地铁结构邻近有风险很大的建筑物,应对该建筑物进行专项监控量测方案的设计。

3.2 施工过程控制

在前面的分析中,确定了各个柱基的沉降(水平位移)控制标准以后,先选择最优的施工工法及辅助施工工法,在确定了最优的施工工法或辅助工法的基础上,进行施工过程的沉降控制,保证沉降在控制范围之内。

(1) 施工工法的优化

选择几种可行的施工工法(包括对现有的设计单位提出的施工工法)进行数值模拟计算,确定最佳的施工工法;在需要增加辅助措施时,还应确定最佳的辅助工法。

(2) 施工过程沉降控制

施工过程沉降控制的应用在于严格控制每一施工工序的地表沉降值或水平位移值,从而最终到达控制地表的整个沉降值和水平位移值在控制标准内,其步骤是:

(1) 依据现场调查、工程经验,参考计算分析,在满足建筑物的结构承载力的前提下,综合考虑经济技术指标,确定施工过程中控制参数的总的控制

指标;

(2) 在此基础上,结合前面的施工工法,确定每道工序的控制目标。依据以往经验,结合理论、数值计算,给出每步控制标准;

(3) 在施工过程中,如前一步施工工序控制参数在控制标准范围内,则继续施工,如前一步工序控制参数超过该步控制标准,则调整以后施工过程,保证提出每一道工序的沉降控制值;

(4) 总的原则:在地铁施工过程中,应当保证各分步沉降值不超标,确保总沉降值不超标。

4 建筑物的一般保护和加固措施

4.1 建筑物保护措施

施工前调查所有在施工影响范围内的建筑物,着重查明建筑物的结构形式、基础形式、数量、修建年代、材质、质量状况、工作状态、与地铁线路的位置关系等。当建筑物具有很大的破坏风险时,应遵循“先加固、后施工”的原则。

施工前的主要加固措施:

(1) 根据工程实际情况,选择进行地层注浆、隔离桩等措施,严重时可以采用建筑物桩基托换或加固措施;

(2) 地层注浆:从地表或洞内注浆加固地层;

(3) 隔离桩:从地表或洞内施作隔离桩;

当邻近建筑物破坏的风险较大时,应考虑在地面或洞内施作隔离桩,并对建筑物基础进行处理,控制基础相邻的地层沉降。

当建筑物为桩基础,可以考虑实施桩间注浆,提高外侧土体的固结程度与密实度,增加桩底部承载区域内的约束,力求将桩周的摩阻力损失降至最低。从而减小建筑物本身的变形程度。

如果建筑物基础为桩基础,且桩长较短,应考虑在地面打设深桩,通过后植筋技术承台扩大,并将部分荷载转移至新增设的深桩上,使之能与短桩共同承受上部荷载,一起抵抗后续施工中的变形。

(4) 对建筑物进行基础托换或加固。

当邻近建筑物破坏的风险较小时一般时,可以边施工、边加固,并进行施工过程量测监控。

当邻近建筑物破坏的风险较小时,可以先施工、后加固,即在施工结束后,再根据具体情况确定是否需要建筑物进行加固。

4.2 地铁施工加固措施

(1) 暗挖隧道严格遵循“管超前、严注浆、短进尺、强支护、快封闭、勤量测、早成环、环套环”的施工原则进行开挖支护,控制地层的下沉量,同

时还应注意以下事项:

① 加密格栅钢架,必要时增加喷射混凝土厚度;② 施工中要注意对施工工艺的控制,采取小分块、短进尺、快封闭的手段,减少对地层的扰动,尤其要处理好拱脚变形的问题;③ 在地铁工程土方开挖过程中,洞内加强横向支撑,限制土体的侧向变形;④ 施工中要加强洞内和地面建筑物的监控量测,并做好记录,发现问题及时采取有效措施并反馈信息。

(2) 地铁工程在穿越邻近建筑物时,如果采取盾构法施工,应考虑以下措施:

① 合理设置土压力值,保持正面的平衡,防止超挖和欠挖;② 穿越时降低推进速度,控制总推力,减少土层扰动;③ 穿越前调整好盾构姿态,穿越时减少纠偏次数及纠偏量,减少土体的扰动;④ 在穿越邻近建筑物地段,保证一次穿过,不能中途换刀,如果实在避免不了在上部地段换刀,事先要准备充足的预案。首先从盾构前部预留的超前加固装置对土仓上部及前方顶部的土体进行注浆加固,以保持开挖面稳定不出现塌方,然后再对土仓加气压后更换刀具。

(3) 加强建筑物的监控量测,根据建筑物的性质、结构形式、基础形式等建立不同的控制值,通过监控量测及时掌握建筑物的变形情况,及时调整施工工艺,确保建筑物保护管理在可控状态;

(4) 不良的地质地段必须采取特殊的施工技术措施,如进行地质改良,缩短循环进尺等,以防止沉降超限;

(5) 喷射混凝土施工时应预留注浆管,支护完成后压注水泥浆或水泥砂浆回填背后空隙,并加固被扰动土体;

(6) 加强洞内外的注浆措施,控制地层沉降。

5 施工完成建筑物安全风险评估

在地铁施工完成后,根据建筑物地基基础的最终沉降值以及建筑物的倾斜量对建筑物的地基承载力、建筑物结构的承载力进行复核,判断建筑物的安全状态以及还能承受的附加沉降值或倾斜量。如果经过复核后,建筑物地基基础或建筑物结构承载力接近甚至超过极限承载力时,则应对地基或建筑物本身采取加固措施,以保证建筑物的安全使用。

6 结 论

(1) 在隧道开挖对地面建筑的影响方面,目前

研究的比较少。特别是针对不同结构形式,在隧道开挖过程中及开挖完成后结构具体会产生多大的裂缝、变形;建筑物在水平方向的不同位置、在垂直方向的不同高度上,结构的内力为多大、其分布规律如何等的研究还很少见,建议加强这方面的研究。

(2) 通过对地铁施工的特点及周围环境的分析,提出一套针对地铁施工对建筑物的安全管理体系,用于指导类似工程施工。

(3) 体系中各个环节的具体操作还需进一步细化,如对于古建筑木结构的施工监控量测,有许多地方不同于一般的建筑物的监控量测,可进行专项讨论。

(4) 具体施工完成后,还需根据具体的实际情况,进行修正,使得体系得科学性和可操作性强。

参 考 文 献

- [1] 王梦恕. 地下工程浅埋暗挖技术通论[M]. 合肥: 安徽教育出版社, 2004.
- [2] Attewell P B, et al. Soil movements induced by tunneling and their effects on pipelines and structures[M]. [s. l.]: [s. n.], 1986.
- [3] 丁磊. 西安鼓楼动力特性研究与 Pushover 分析在古木结构中的应用[D]. 西安: 西安交通大学, 2003. 1—5.
- [4] 刘海燕, 姜玉松. 隧道开挖对地表及建筑物影响研究与分析[J]. 西部探矿工程, 2005, 106(3): 108—109.
LIU Hai-yang, Jiang Yu-song. The study and analysis of the ground surface and buildings during tunnel excavation[J]. **West-China Exploration Engineering**, 2005, 106(3): 108—109.
- [5] 麻永华, 贺善宁. 建筑物下浅埋暗挖隧道施工技术研究[J]. 隧道及地下工程, 2004, (12): 74—77.
MA Yong-hua, HE Shan-ling. Study on the construction technique of excavation in shallow tunnel under building[J]. **Tunneling and Underground Engineering**, 2004, (12): 74—77.
- [6] 陶禹. 地铁施工对周边建筑物的影响及控制[J]. 铁道勘测与设计, 2004, 135(3): 70—72.
TAO Yu. The effect and control of the neighbor buildings during metro construction[J]. **Railway Survey and Design**, 2004, 135(3): 70—72.
- [7] GB50007—2002, 建筑地基基础设计规范[S].