

城市地下工程施工诱发的安全事故及其控制

张顶立

北京交通大学城市地下工程教育部重点实验室, 北京 100044

摘要 基于城市地下工程建设中“地层-环境-工程扰动”的动态作用特点和典型安全事故的统计分析,指出城市地下工程安全事故发生的本质就是施工诱发的地层失稳和过大变形所致,控制地层变形是避免安全事故的根本所在;针对城市复杂地层的结构性特点,提出工程影响下的地层变形应从地层材料变形、细观结构层稳定性和环境诱发3个层面考虑,据此可对城市复杂地层变形作出更为科学的预测;针对城市地下工程高风险的特点,提出了建(构)筑物安全风险评估内容和安全风险控制工作程序,显著提升了城市地下工程建设安全控制水平。

关键词 城市地下工程;安全事故;复杂地层;地层变形;动态过程控制

1 城市地下工程安全风险的基本特点

随着中国城市化进程的迅速加快,以城市轨道交通建设为主导的地下空间开发已进入高潮,为此将修建大量的地下工程。由于特殊的地理位置,城市地下工程通常是在软弱地层中施工,而且周边环境又极为复杂,各种工程条件及其影响存在较大的不确定性。通常认为,城市地下工程建设的安全风险主要分为工程自身和环境安全两类,其中以环境安全风险更为突出。事实上,近年来国内外的城市地下工程建设中出现了多起安全事故,造成了严重的社会影响和重大经济损失,典型安全事故如图1所示。究其原因主要在于^[1]:1)没有从本质上认识安全事故的演化过程及形成机理,导致控制对策缺乏科学性;2)某些核心技术没有实现突破,制约了整体技术水平的提高;3)目前的安全性控制是以经验为主,致使工程安全难以做到完全受控。这客观上已成为城市地下

工程大规模建设中所面临的重要技术难题,并引起社会各界和政府有关部门的广泛关注。

由于城市地层条件以及地面、地下环境的复杂性,城市地下工程面临较大的安全风险,主要特点为:1)城市地层通常为软弱地层且变化频繁,地层条件的不确定性将带来较大的安全风险;2)城市地下结构施工过程中力学转换较多,易于出现施工过程中的结构及地层失稳;3)城市地下结构埋深较小,在地下工程施工中必然会对地表造成较大影响,与地面结构物的作用关系不确定性增加,安全风险增大;4)城市环境极其复杂,地面建筑物和地下管线密布,使得安全事故的发生难以确定;5)目前隧道及地下工程学科理论尚不成熟,加之地层及工程条件的千变万化,难以做到精细化设计和施工;6)由于城市中心城区人员集中,发生安全事故将造成非常严重的经济损失和社会影响。



(a) 北京京广桥邻近地面塌陷

(b) 深圳地铁二期工程地层失稳

(c) 上海地铁4号线事故

图1 城市地铁施工诱发地面塌陷事故

Fig. 1 Photographs of ground collapse accident induced by urban subway construction

收稿日期:2016-12-26;修回日期:2017-02-14

基金项目:国家科技支撑计划项目(2012BAJ01B03)

作者简介:张顶立,教授,研究方向为隧道及地下工程,电子信箱:zhang-dingli@263.net

引用格式:张顶立.城市地下工程施工诱发的安全事故及其控制[J].科技导报,2017,35(5):31-37;doi:10.3981/j.issn.1000-7857.2017.05.003

2 城市地下工程安全事故特点

2.1 地铁施工安全事故统计分析

通过对北京地铁施工部分安全事故进行分析,统计了44起事故案例的类型和事故起因(图2)。由图2可见,除施工管理外,与管线有关的安全事故占有最大的比例,达到23%,这与城市地下管网的复杂性和不确定性有关,也正突显了城市地下工程的风险特点;此外,与不良地质体有关的安全事故比例也较高,而且不良地质体引发的事故破坏性往往较大,因此必须予以充分重视。

在上述44起事故案例中,由于施工管理缺陷而造成事故案例达到20起,比例高达45%,这也为中国城市隧道施工的安全风险管理鸣响了警钟;地面塌陷事故共16起,占全部事故的36%,该类事故主要由不良地质体和管线断裂或渗漏引起;如果不计施工管理缺陷造成的20起事故,则地面塌陷事故占其余24起事故的67%,其比例高得惊人。

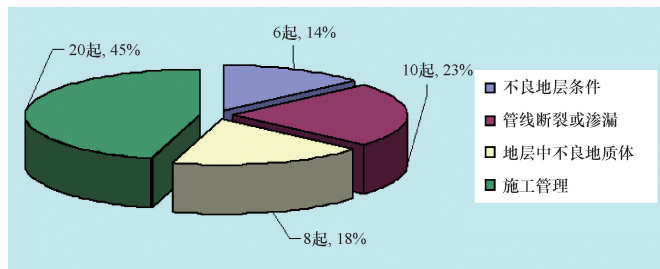


图2 北京地铁施工安全事故类型及事故起因分布

Fig. 2 Types of safety accidents and distribution of accident causes in Beijing Metro construction

2.2 地层坍塌类安全事故

在上述统计分析的基础上,通过增补其他城市地铁施工诱发地层坍塌的典型案列,对城市隧道施工引起的29起地面塌陷事故案例统计分析表明,由于地下管线渗漏或破坏诱发的地面塌陷事故共11起,所占比例高达38%;由于地层中赋存的不良地质体诱发地面塌陷事故共9起,所占比例为31%;由于富水砂层或富水软弱地层诱发的地面塌陷事故共7起,所占比例为24%;由于隧道施工临时支护拆除过程中力学转换处理不当(时空效应重视不足)诱发的地面塌陷事故共2起,所占比例为7%。

从上述分析可以看出,绝大部分地面塌陷事故与地下管线渗漏或破坏及不良地质体结构破坏有关。隧道施工引起地层变形,进而引起管线变形,若变形过大可能导致其渗漏水加剧甚至断裂,进而导致地面塌陷事故。同理,隧道施工也将引起不良地质体进一步恶化,表现为水囊失水、空洞扩大、空洞群的连通等,从而导致不良地质体自身结构失稳破坏,进而引起地面塌陷^[2-4]。

2.3 地层过度变形类安全事故

在富水软弱地层及富水砂层内进行隧道施工,极易引起地层的变形超限,甚至引起地铁隧道围岩(土体)失稳、工作

面塌方、地面塌陷等一系列问题,还会导致既有管线设施、地表建(构)筑物和道路的破坏。通过对北京地铁新建线路施工过程中因地层条件不良导致地层过度变形而导致的安全事故概况及分析,其本质原因可归纳为以下几点。

1) 地层自身结构松散,强度弱、均匀性差,开挖扰动极易破坏原有脆弱的稳定状态。

2) 在含水地层中的开挖,使地层失水固结,从而产生较大沉降。

3) 施工中各种原因造成土体颗粒流失,产生明显的土体损失,迫使上覆地层整体沉降。

4) 制定的地层沉降控制标准不够合理,实施效果差。

上述各种原因是引发坍塌事故的主要风险因素,若控制措施不及时、不到位,例如施工方法存在不当、支护结构施作时机或刚度不足以阻止地层发生过量变形,甚至导致支护结构本身亦随之沉降,则必然会进一步加剧地层沉降规模和发展速率,导致坍塌事故的严重后果。

从上述分析可见,城市地下工程安全事故的原生灾害就是地层失稳和过大变形所致,在工程实践中应针对不同失稳模式分别建立地层变形与破坏的关系,以科学防控安全事故的发生。因此,城市地下工程施工过程中有效控制地层变形是防控安全事故的根本所在,这是因为:灾变发生与地层变形有关,地层本身稳定性也与地层变形相关,而灾变演化与传导则依变形而进行,如果地层变形得到及时有效的控制,灾害即可避免或减少。

3 城市复杂地层环境影响特点及其变形预测方法

3.1 城市复杂地层环境影响特点

城市地层条件极其复杂,通常由呈连续状态的岩土体、地层结构面、地层缺陷、水囊和地下构筑物构成,因此可以认为复杂地层结构实质上为一复合结构体,其力学性能表现为整体结构性质。这种结构性是造成隧道施工影响下地层变形和破坏复杂性的重要原因,也是实现精细化预测和安全性控制的技术瓶颈。大量工程实践表明,很多情况下的地层变形预测值与实测结果非常吻合,但是,对于某些地层的变形实测值则与预测值相差悬殊,这显然是由于对其均匀性、连续性和完整性的假设违背了事实,或者出现了较大的出入。于是人们通过降低地层参数的概化计算方法进行地层变形的预测,但其结果的可靠性与对地层内部结构的分布及性质假设的准确性有关。基于这种假设的计算结果可满足部分工程的要求,但对于建造于复杂环境下的城市地下工程常常难以接受。采用降水施工和工程诱发失水引起的地层固结变形和沉降也是应予考虑的重要方面,其沉降值的大小也与地层的结构性显著相关^[5]。

地层的结构性及细观缺陷在地层变形中具有极其重要的作用,有时其影响甚至是决定性的,就地层的细观缺陷而言,其影响模式主要有:单个缺陷结构的失稳、多个缺陷结构之间的相互作用和缺陷结构的协调变形。

1) 结构失稳及洞体扩散。地层细观缺陷的失稳通常会诱发大范围的地层破坏,进而引起地层的变形并传递到地表而成为沉降槽的组成部分,结果使地层总变形量增大。受施工扰动后,地层细观结构以一定方式向周围扩散,范围不断扩大,造成大范围的地层松软,客观上降低了地层的刚度,这也是地层变形增大的原因。显然,细观结构失稳对地层变形影响的实质是由由此造成的应力释放,其影响程度取决于结构失稳形式及影响范围。洞体最终的扩散和松动范围则取决于洞体性质及相应区域的地层力学形态和参数,其过程表现为典型的渐进破坏模式。

2) 洞群耦合作用及破坏模式。复杂地层中通常同时存在多个细观缺陷,而且结构类型和分布具有随机性,它们在受施工影响后的失稳过程中发生复杂的相互作用,甚至互为失稳的诱发因素,最终造成大范围的宏观地层变形。复杂洞群对地层变形的影响表现为:(1) 细观结构类型、位置分布及失稳模式的影响;(2) 不同结构间相互作用特点和时空关系;(3) 多种结构的复合作用及地层变形效应。对多个结构综合作用效果的评价极其复杂,而且具有动态作用特点。

3) 洞体结构的协调变形与稳定。考虑到地层缺陷的细观结构具有一定的稳定性,在施工影响下,有时会发生协调变形而不致破坏,或发生刚体运用或移动,这时通常对地层的宏观变形没有实质性的影响。细观结构的这种运动模式是有时空条件的,不仅与结构性质、尺度和位置有关,而且还受到工程活动特点的影响和制约。处于该状态下的地层结构增加了工程影响的不确定性,常伴有安全风险。

在实际工程中,水的固结作用效应以及失水流砂也会引起地层参数和细观结构稳定性的变化,进而造成地层破坏和

变形增大。

3.2 城市复杂地层变形预测方法

如前所述,隧道施工影响下复杂城市地层的变形由3部分构成,即材料层面的弹塑性变形、细观结构层面的复合性变形及环境诱发的固结性变形,故应对其分别计算,并考虑到地层预加固、隧道预支护和时效性的影响,经综合分析后即可对复杂地层的变形做出预测^[6]。

首先将复杂地层视为均质的连续介质,忽略其结构性,即认为结构孔洞已为相同的材料所充填。基于连续介质层面的地表沉降量可用 S_1 表示,通常采用弹塑性理论计算,可由本构关系解析法求解,也可以由数值计算方法取得。地层细观结构的破坏和失稳可造成地层变形和地表沉降,各种结构之间相互影响,呈现复杂的非线性关系和时空效应。基于细观结构层面的地表沉降量可用 S_2 表示,主要包括结构失稳所引起的沉降量以及各种地层参数的变化,由此可采用结构分析及数值计算方法获得。失水流砂引起的地层变形可用 S_3 表示,主要是指施工降水过程中超孔隙水消散引起的地层固结变形和沉降,由此可利用土力学原理计算降水造成的地层固结变形和沉降值。综合以上分析结果,同时考虑其动态耦合作用效应,将其进行叠加即可得出复杂地层的总变形量,即可得到复杂地层的变形量及其分布规律。

然而,在实际工程中,对隧道施工影响下复杂地层变形的准确预测极其困难。事实上,在隧道施工引起的3种变形模式是相互影响的,有时互为诱发因素,这也是耦合作用的本质特征,而且最终均受到隧道施工的影响和制约。城市复杂地层变形的形成机理、复杂结构地层变形及其相互影响如图3所示。

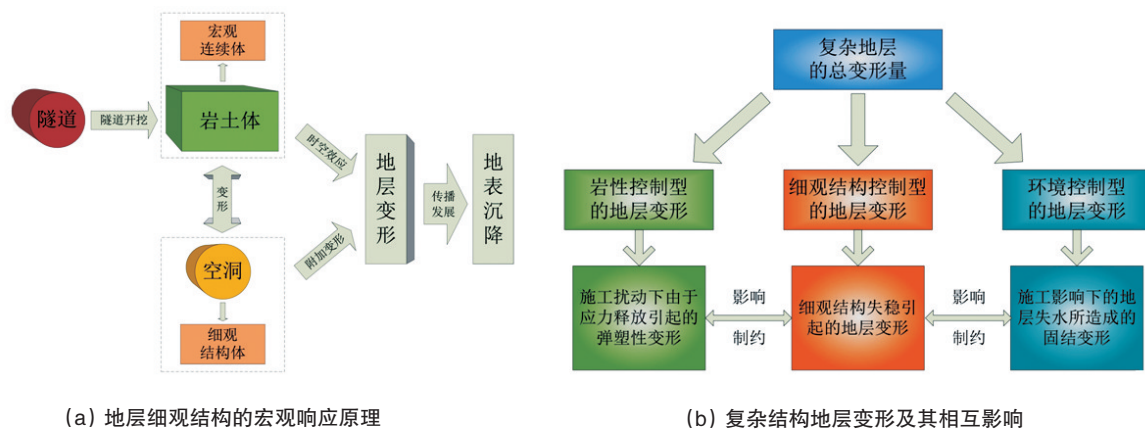


图3 城市复杂地层变形的形成机理、复杂结构地层变形及其相互影响

Fig. 3 Mechanism of complex formation deformation and deformation of complex structures and their interactions

4 城市地下工程施工的安全风险评估

由于城市地层条件多变、环境极其复杂以及工程影响的不确定性,使得地下工程面临极大的安全风险,主要有工程风险和環境风险两类,其中城市地下工程施工引起的環境安

全风险尤其突出。在城市地下工程施工影响下的地层变形与其影响范围内的建(构)筑物形成动态的相互作用,由于工程条件、建筑物状态及地层条件的变化,将会出现不同作用结果(图4),因此也应采取不同控制方案和技术措施。

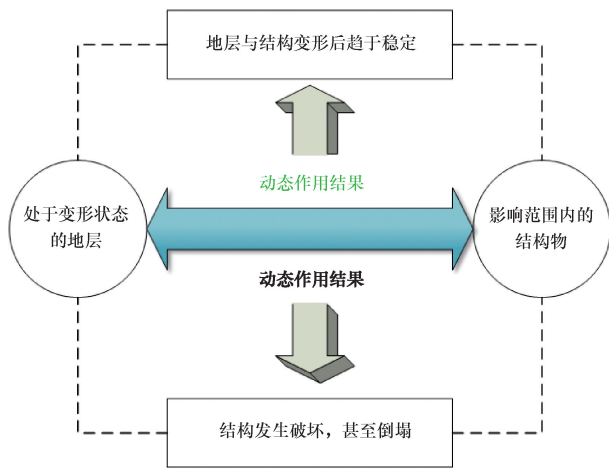


图4 地层与结构的动态作用结果示意
Fig. 4 Schematic of the dynamic effect of stratum and structure

对施工影响范围内既有建(构)筑物的现状评估和安全性评价必然成为城市地下工程安全风险控制体系的重要内

容,其核心工作即是对工程施工影响范围内重要建(构)筑物的完好状态进行系统分析,确定出既有结构所能承受的附加影响值进而给出结构变形控制标准。在此基础上,依据新建工程特点、结构状态和两者之间的距离及地层条件等,通过预测变形量与控制标准的对比可对其安全风险作出评估。

安全风险评估的目的首先在于了解隧道邻近建(构)筑物的当前工作状态;一方面可准确判断(鉴定)建(构)筑物结构的安全程度,及时治理不安全乃至危险的结构,确保安全;另一方面可通过检测及计算分析,评估建(构)筑物当前的工作状态和抵抗附加变形的能力,在此基础上,为制定由地下工程施工而产生的建筑物附加变形(沉降、差异沉降、水平位移等)极限控制值及施工技术方案提供依据。

建(构)筑物的安全性状态是由预测得到的隧道开挖地层变形与建筑物剩余变形能力的匹配情况决定的,目前多以规范为参照进行。从理论成熟、意义直观、使用简便的角度,建(构)筑物安全性预测应落实到风险评估上,以建筑物与隧道的邻近程度及初步预测的施工影响为依据,并综合建筑物剩余变形能力进行分析,具体流程见图5。

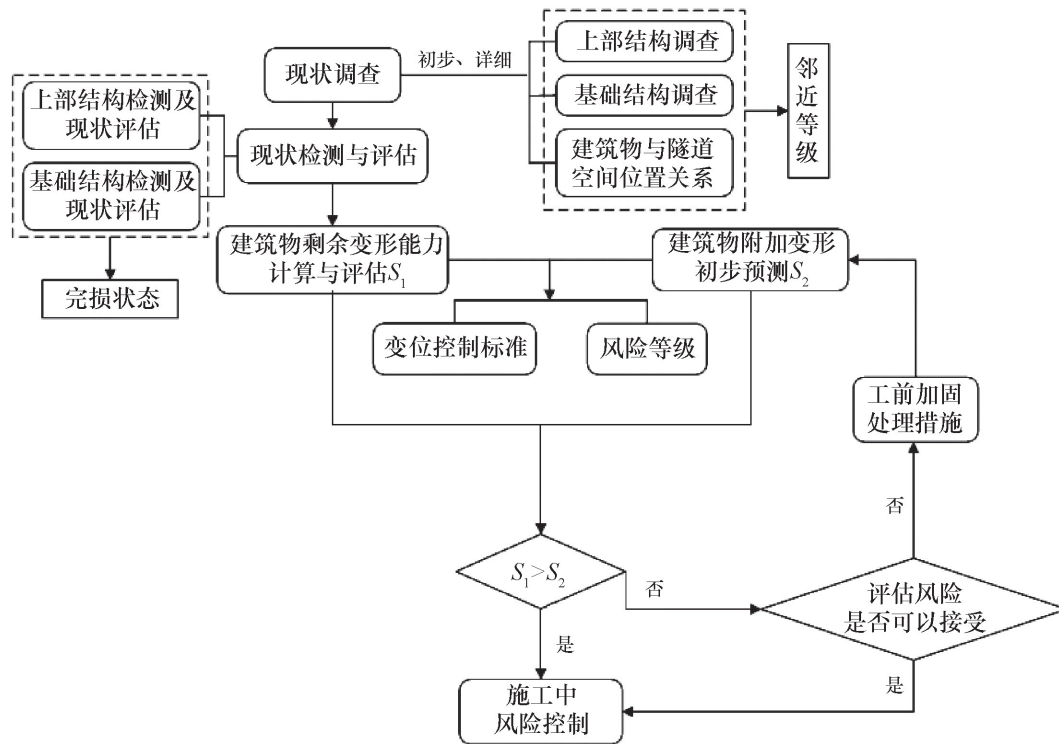


图5 建(构)筑物安全风险评估内容及总体程序
Fig. 5 Content and procedure of safety risk assessment of building (structure)

5 城市地下工程施工的安全风险控制

随着地下工程施工过程力学及地层环境影响问题研究的深化及施工技术水平和监测手段的提高,一些深层次的科学技术问题逐步得到解决,建立一套较为完整的安全风险管理机制,藉著风险咨询系统,对地下工程施工全过程实行动

态控制已成为可能。与目前国外较为流行的基于数学统计的管理系统相比,该系统具有更强的可操作性和先进性。

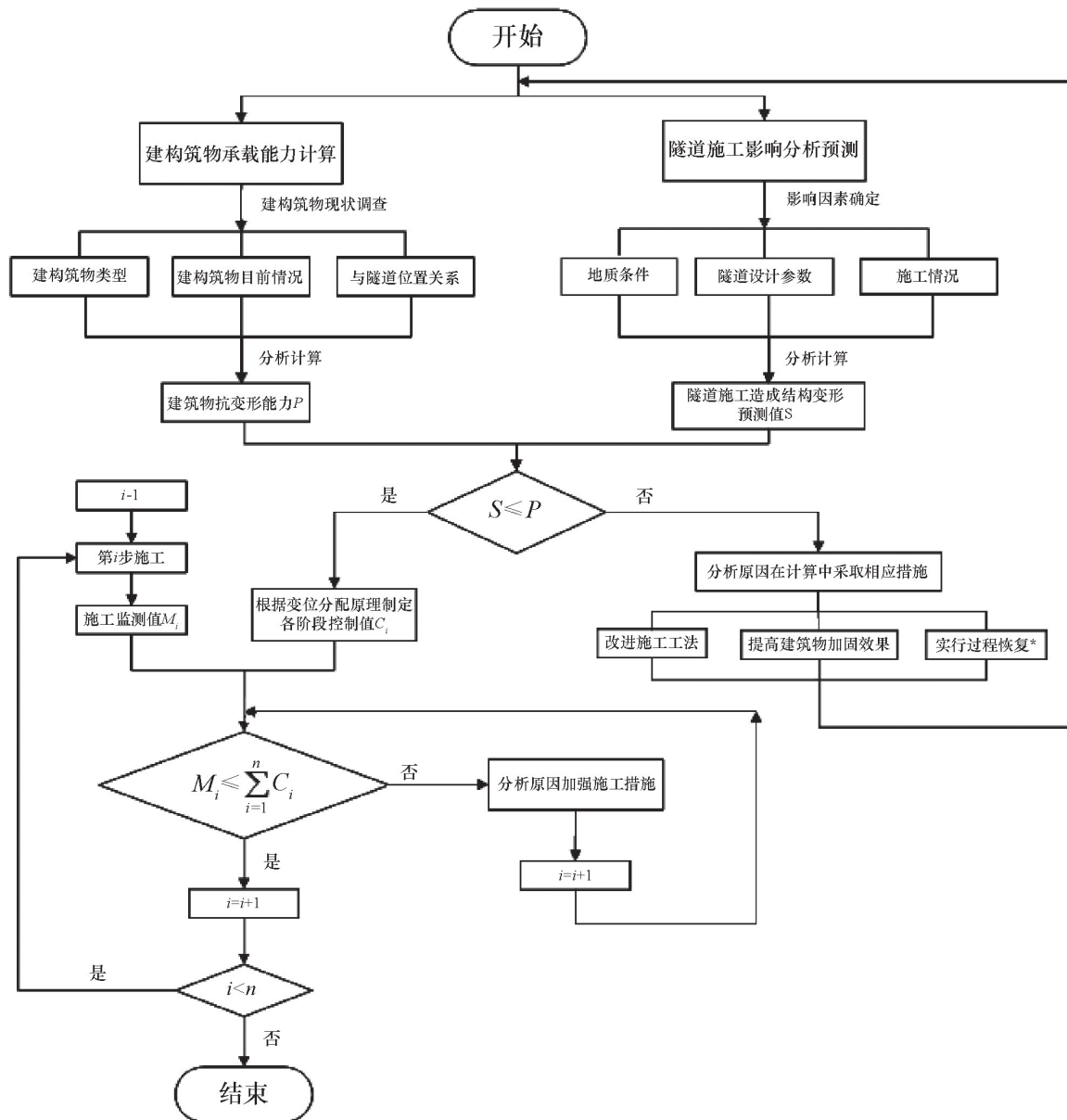
根据城市地下工程的建设特点,对于安全风险的控制应贯穿于工程建设的全过程^[7],本控制体系主要包括以下5个主要环节。

1) 既有结构的现状评估及安全性评价。对于施工影响范围内的既有重要建(构)筑物进行基于现状的安全性评估,即考虑主要结构的残余强度,在各种典型变形模式下进行安全性分析(数值破坏试验),由此确定出极限强度,在考虑安全系数后可给出控制标准;对于复杂大型地下结构,考虑到施工过程中的力学转换,应给出各种不利状态下临时结构的变形和应力控制标准,从而在施工过程中通过监测对安全性进行预警和报警。

2) 施工影响预测和施工方案确定。基于可行的施工方案对造成的附加影响进行预测,以确定出附加影响最小的施

工方案。而当施工附加影响不能满足控制要求时,则应采取注浆加固等预处理措施,也可对结构提出加固要求,其目标是使施工附加影响达到结构标准可接受。而当附加影响无法达到整体控制要求时,可考虑采用“过程恢复”手段,以保证总体控制目标不超限。

3) 过程控制方案的制定和实施。按照施工过程力学理论,采用变位分配原理,在既定的施工方案下将沉降或应力控制目标进行分解,明确每个阶段的控制目标,各阶段控制指标的分配应从理论分析、既往经验和工程特点分析等3个方面综合考虑确定。



注:*过程恢复是指总体沉降目标不能满足控制要求时,在某些阶段沉降发生后及时进行结构抬升,使部分沉降得到恢复。

图6 城市地下工程安全风险控制的工作程序

Fig. 6 Working procedure of safety risk control for urban underground engineering

4) 监控量测及信息反馈。根据工程特点和控制重点,选择关键部位的重点控制指标实施全过程监测,在关键施工阶段可进行在线或远程实时监测,对监测数据实时处理并及时反馈;按照监测结果,并与施工过程相结合,通过系统分析对工程的安全性作出评价和判断,从而在施工措施上及时作出反应,必要时启动应急预案。

5) 工后评估及结构状态修复。隧道施工完成后,客观上不可避免地要对既有建(构)筑物造成影响,或对结构的使用功能造成一定损害,因此应对所造成影响的程度作出评价;同时根据损害的程度对恢复的必要性、可行性及经济合理性作出分析和评估,并据此给出相应的恢复方案、措施和建议。

安全风险即事故发生的危险性,通常包括事故发生的概率及其造成的危害程度,对于城市地下工程的环境风险,主要考虑既有结构物状况、工程近接程度和新建工程特点等3个主要指标进行危险性分级,进而根据风险等级采取不同的管理模式。

安全风险管理包括风险分析、风险评估、风险规避和控制等环节,城市地下工程安全风险管理的程序如图6所示。根据地层、环境特点和工程建设条件,按照此控制系统分别对北京地铁5、10(一期)、4号线,奥运支线,机场线工程及厦门机场路隧道工程进行危险性等级划分,分别划分为特级、一级、二级和三级风险点,采取相应的安全风险控制模式,取得了满意的效果^[1,8-12]。

6 结论与展望

在今后一段时间内,安全性控制将一直是隧道及地下工程建设中的一个核心问题,这不仅是行业可持续发展的需要,也是隧道及地下工程技术发展的必然要求;而深层次问题的逐步解决也必将使这一传统的学科焕发出新的、更大的活力,在土木工程学科发展中所发挥的作用也将更加突出^[1]。

1) 安全性控制水平与建造技术水平的共同提高。安全性控制作为隧道及地下工程建造技术体系的核心内容,应与地下工程的设计理论、施工技术和信息化技术同步发展。安全性控制的内涵非常广泛,基于科学原理的控制方案是重点,施工技术的实现则是关键。安全风险控制水平的提高是地下工程建造技术得以发展的重要体现,同时也只有隧道设计和施工技术水平的提高才能使某些控制技术的实施成为可能。

2) 城市地面与地下工程的协调开发与利用。城市功能向地下转移是大城市尤其是中心城区发展的必然选择,但应做到与地面建筑同步发展、协调开发和利用。地下建筑与地面建筑结构的协调发展有利于城市功能的发挥,包括在空间上方便转换、功能上实现互补,发挥地上、地下结构的整体效应,同时也可最大限度地利用土地资源。在既有建(构)筑物等结构周边开发地下空间时,应处理好对既有结构安全性的影响控制;而在新城区的规划和建设中,应事先对地上、地下联合开发方案进行充分论证,尤其要明确各自的功能定位。

3) 地层与结构监测手段的科学化发展。在地下工程的安全性控制中,无论科学数据的采集,还是监控方案的实施,监测手段及其可靠性都将直接影响到安全性的预测和控制水平,在这方面,尤其是地层土体的可靠监测手段,目前国内外都没有取得令人满意的进展。地层与结构监测手段的科学化发展是实现地下工程精细化安全控制的重要基础,也将是今后重点发展的方向,其研究重点应是通过测试和监测手段的提高,来提升监测结果的可靠性和信息化。

4) 事故机理和灾害模式的深化研究。只有对安全事故的形成机理形成系统的认识,才能从根本上避免重大安全事故的发生。鉴于在地下工程建设中,工程活动引起的地层变形通常是事故产生的根源,因此安全事故机理的研究应以地层变形研究及其控制为核心,以“地层-结构”的动态作用为重点,从细观结构层面对地层变形及其传播规律、多因素耦合作用机制等问题开展研究,并针对不同的灾害类型和模式,制定出相应的控制标准,实现真正意义上的精细化设计和施工。

5) 基于科学原理的信息化平台的构建。基于大量工程经验的安全性控制存在3个方面的突出问题。(1) 对于无类似工程可供借鉴的复杂工程情况,对于安全性的预测缺乏依据。(2) 有时受到某些施工技术和监测技术的制约,某些控制方案难以实施。(3) 鉴于尚未从本质上充分认识安全事故的发生和演化规律,使得安全性预测和控制的可靠性受到制约。以上问题的解决都依赖于对地层变形机理的深入认识,以及对安全性预测理论与方法的深入探索和研究,并在此基础上构建基于科学原理的信息化控制平台。

参考文献(References)

- [1] 张顶立. 城市地下工程建设安全风险及其控制[M]. 北京: 化学工业出版社, 2012: 23-24.
Zhang Dingli. Safety risk and control of urban underground engineering construction[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2012: 23-24.
- [2] 张成平, 岳跃敬, 蔡义. 管线渗漏水范围对浅埋隧道围岩变形和破坏的影响[J]. 岩石力学与工程学报, 2015, 34(2): 392-400.
Zhang Chengping, Yue yuejing, Caiyi. Influence of pipeline leakage on deformation and failure of surrounding rock in shallow buried tunnel[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2015, 34(2): 392-400.
- [3] 张成平, 韩凯航, 张顶立, 等. 城市软弱围岩隧道塌方特征及演化规律试验研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2014, 33: (12): 2433-2442.
Zhang Chengping, Han Kaihang, Zhang Dingli, et al. Experimental study on characteristics and evolution law of tunnel collapse in weak surrounding rock[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2014, 33(12): 2433-2442.
- [4] 张成平, 王梦恕, 张顶立, 等. 城市隧道施工诱发地面塌陷的预测模型[J]. 中国铁道科学, 2012, 33(4): 31-37.
Zhang Chengping, Wang Mengshu, Zhang Dingli, et al. Prediction model of ground subsidence induced by urban tunnel construction[J]. China Railway Science, 2012, 33(4): 31-37.
- [5] 张顶立, 黄俊. 地铁隧道施工拱顶下沉值的分析与预测[J]. 岩石力学与工程学报, 2005, 24(10): 1703-1707.

- Zhang Dingli, Huang Jun. Analysis and prediction of vault settlement in subway tunnel construction[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2005, 24(10): 1703-1707.
- [6] 张顶立, 李倩倩, 房倩, 等. 隧道施工影响下城市复杂地层的变形机制及预测方法[J]. 岩石力学与工程学报, 2014, 33(12): 2504-2516.
Zhang Dingli, Li Qianqian, Fang Qian, et al. Deformation mechanism and prediction method of urban complex stratum influenced by tunnel construction[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2014, 33(12): 2504-2516.
- [7] Zhang Dingli, Fang Qian, Hou Yanjuan. Environmental safety risk management in urban subway tunnel construction using shallow method [C]//11th Congress of the International Society for Rock Mechanics: The Second Half Century of Rock Mechanics. Lisbon Portugal: Taylor and Francis Group. 2007: 1289-1291.
- [8] 房倩, 张顶立. 浅埋暗挖地铁车站下穿既有有线结构施工方法研究[J]. 中国铁道科学, 2007, 28(5): 71-77.
Fang Qian, Zhang Dingli. Construction method study of subway station under the existing structure of wear[J]. China Railway Science, 2007, 28(5): 71-77.
- [9] 张成满, 罗富荣. 地铁工程建设中的环境安全风险技术管理体系[J]. 都市轨道交通, 2007, 20(2): 63-65.
Zhang Chengman, Luo Furong. Environmental safety risk management system in subway construction[J]. Urban Rapid rail Transit, 2007, 20(2): 63-65.
- [10] 张顶立. 城市地铁施工的环境安全风险管理体系[J]. 土木工程学报, 2005, 38(增刊1): 5-9.
Zhang Dingli. Environmental safety risk management of urban subway construction[J]. China Civil Engineering Journal, 2005, 38(Suppl): 5-9.
- [11] 张成平, 张顶立, 吴介普, 等. 暗挖地铁车站下穿既有地铁隧道施工控制[J]. 中国铁道科学, 2009, 30(1): 69-73.
Zhang Chengping, Zhang Dingli, Wu Jiepu, et al. Construction control of metro tunnel under the existing subway tunnel[J]. China Railway Science, 2009, 30(1): 69-73.
- [12] 骆建军, 张顶立. 地铁施工对邻近建筑物安全风险管理体系[J]. 岩土力学, 2007, 28(7): 1477-1482.
Luo Jianjun, Zhang Dingli. Safety risk management of subway construction on adjacent buildings[J]. Rock and Soil Mechanics, 2007, 28(7): 1477-1482.

Safety accidents induced by urban underground engineering and their control

ZHANG Dingli

Key Lab of Urban Underground Engineering, Ministry of Education, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China

Abstract Based on the dynamic characteristics of "ground-environment-construction disturbance" and the statistical analysis of typical safety accidents in the construction of urban underground engineering, this paper points out that the essence of safety accidents in urban underground engineering is the instability and deformation caused by construction, and that controlling ground deformation is the key to safety accident prevention. Considering the structural characteristics of the urban complex stratum, it is suggested that the ground deformation under the influence of the engineering should be considered from three aspects: deformation of ground material, stability of mesoscopic structural layer, and environment inducement. More scientific predictions for complex ground deformation can be made from these three aspects. This paper puts forward the contents of security risk assessment on buildings (structures) and a working procedure for safety risk control of urban underground engineering construction, significantly promoting the control level of construction.

Keywords urban underground engineering; safety accidents; complex stratum; ground deformation; dynamic process control

(编辑 王志敏)